



**Centro de Investigación en  
Alimentación y Desarrollo, A.C.**

**ELABORACIÓN DE UN QUESO FUNCIONAL ENRIQUECIDO CON  
MAGNESIO**

**POR:**

Edwin Rojo Gutiérrez

**TESIS APROBADA POR LA:**

COORDINACIÓN DE FISIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE LA  
ZONA TEMPLADA  
UNIDAD CUAUHTÉMOC

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

## DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD).

La publicación en comunidades científicas o de divulgación popular de los datos obtenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director o directora de la tesis.

---

Dr. Pablo Wong González  
Director General

## APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para revisar la tesis de Edwin Rojo Gutiérrez, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de maestro en ciencias.

---

Dr. David Roberto Sepúlveda Ahumada  
Director de Tesis

---

Dra. Guadalupe Isela Olivas Orozco  
Miembro de Comité

---

Dr. Néstor Gutiérrez Méndez  
Miembro de Comité

---

Dr. Rogelio Sánchez Vega  
Miembro de Comité

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme brindado la oportunidad de pertenecer al programa de maestría impartido por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD).

Al CIAD por proveerme de todo lo necesario para fomentar mi desarrollo como estudiante e investigador, y poder hacer uso de todos los recursos, equipos e instalaciones que mi proyecto demandó. Agradezco a todas las personas que forman parte de la institución, ya que hicieron de mi estancia en el CIAD una gran experiencia. Por su gran amabilidad y permitirme formar parte de la gran familia que son.

A mi comité de tesis, conformado por el Dr. Rogelio Sánchez Vega, la Dra. Olivas Orozco y el Dr. Néstor Gutiérrez Méndez, quienes me guiaron y aconsejaron durante mi proyecto de tesis para crear un proyecto bien estructurado y profesional el cual estuviera a la altura de una maestría. Doy especial mérito y agradecimiento al Dr. Rogelio Sánchez Vega debido a que al formar parte del laboratorio de lácteos, pudimos trabajar de la mano en donde siempre me brindó todo su apoyo, conocimiento y su gran amistad.

De igual forma agradezco a los demás integrantes del laboratorio de lácteos el Ing. Ángel Esparza Chávez y la Q.AI. Verónica González Vigil, donde cada uno me enseñó y guió a través de mi proyecto de tesis y obstáculos que se presentaron. Doy gracias por siempre darme un trato cordial y ameno el cual se convirtió en una amistad.

Al Dr. David Roberto Sepúlveda Ahumada, quien es una excelente persona y más allá de ser mi director de tesis, que siempre me dejó claro que es un gran amigo con el que siempre puedo contar. Nunca dejó de impulsarme a que me superara como persona, como profesional, como estudiante y como investigador.

Por preocuparse por mi éxito, y transmitirme toda su sabiduría como persona, investigador y director del CIAD. Por la paciencia y tolerancia que me tuvo, por su grande Fé que inculcó en mí, así como por darme las bases y las herramientas para ser un investigador destacado.

## DEDICATORIA

Primeramente dedico este trabajo a mi amor eterno, (Lic.) Yaneth Esquivel, por apoyarme, acompañarme y creer en mi durante todo mi proceso de la maestría a pesar de las adversidades y los sacrificios. Por darme ánimos y brindarme todo su amor y cariño, e impulsarme a salir de mi zona de confort para ser mejor en todos los aspectos, y tener un logro más de muchos en mi vida, el cual podamos compartir.

A mis padre y mi madre que siempre me otorgan su apoyo incondicional y se esforzaron día con día por darme lo mejor, alentándome siempre por conseguir mis sueños y metas sin importar lo que ellos pensarán.

A mi hermano que siempre está ahí cuando lo necesito. A mi Tía Blanca y Tío José por habernos brindado apoyo en tiempos difíciles, y por ofrecernos tantas oportunidades para salir adelante, así como transmitirnos sus experiencias y siempre tratándonos como a dos hijos más.

A mis suegros también por su apoyo incondicional, por ser siempre tan bondadosos y espléndidos, y haberme abierto las puertas de su casa, siendo unos segundos padres.

A mi familia y amigos en general que se han preocupado por nosotros y han aportado ya sea en situaciones complicadas o tiempos recreativos, recuerdos y experiencias que hacen valorar los vínculos que nos unen.

## ÍNDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
4.1. Importancia de los minerales en la dieta humana .....	5
4.2. Importancia del magnesio en la dieta humana .....	8
4.2.1. Metabolismo del magnesio .....	9
4.3. Ingesta recomendada diaria de magnesio.....	10
4.3.1. Deficiencia de magnesio .....	12
4.4. Los alimentos funcionales y sus variedades.....	15
4.5. Leche y su composición.....	16
4.5.1. Macrocomponentes.....	17
4.5.1.1. Proteínas .....	18
4.5.1.2. Lípidos .....	19
4.5.1.3. Carbohidratos .....	19
4.5.2. Microcomponentes.....	20
4.5.2.1. Enzimas.....	20
4.5.2.2. Minerales .....	20
4.6. Queso .....	21
4.6.1. Importancia.....	23
4.6.2. Proceso de elaboración de quesos obtenidos por cuajado enzimático .....	26
4.6.3. Componentes de la leche involucrados en la manufactura de queso.....	27
4.6.3.1. Micelas de caseína.....	28
4.6.3.2. Calcio.....	31
4.7. Adición de sales en leche y derivados.....	35
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>36</b>
5.1. Reactivos y muestras de leche .....	36
5.2. Estrategias de enriquecimiento con magnesio. ....	36
5.3. Selección de la cantidad de magnesio a agregar en la leche o queso	

Chihuahua.....	38
5.4. Adición de $MgCl_2$ en la leche.....	38
5.5. Proceso de elaboración del queso Chihuahua .....	39
5.6. Determinación de magnesio y calcio total .....	39
5.7. Análisis proximal del queso Chihuahua y leche.....	41
5.8. Determinación de la textura del queso .....	44
5.9. Análisis Sensorial.....	44
5.10. Determinación de pH.....	45
5.11. Determinación de acidez.....	45
5.12. Determinación de rendimiento de queso.....	46
5.13. Fundido de queso.....	46
5.14. Análisis estadístico.....	46
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>47</b>
6.1. Composición proximal de la leche .....	47
6.2. Influencia de la adición de $MgCl_2$ sobre el enriquecimiento del queso Chihuahua.....	48
6.3. Influencia de la adición de $MgCl_2$ sobre la composición de los quesos Chihuahua.....	54
6.4. Influencia del $MgCl_2$ en las propiedades físicas de los quesos Chihuahua .....	63
6.4.1. Fundido .....	63
6.4.2. Análisis de perfil de textura .....	64
6.4.3. Análisis sensorial de los quesos Chihuahua.....	66
6.5. Influencia de la adición de $MgCl_2$ sobre los parámetros del proceso de elaboración de los quesos Chihuahua .....	67
<b>7. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>72</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>74</b>
<b>9. APÉNDICE A.....</b>	<b>86</b>
<b>10. APÉNDICE B.....</b>	<b>98</b>
<b>11. APÉNDICE C.....</b>	<b>126</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales funciones de los minerales presentes en los alimentos. ....	6
Tabla 2. Ejemplos de las funciones del magnesio en el cuerpo humano. ....	8
Tabla 3. Distribución de magnesio en un adulto. ....	9
Tabla 4. Recomendaciones de ingesta diaria de magnesio.....	11
Tabla 5. Contenido de magnesio de diversos alimentos.....	13
Tabla 6. Causas de hipomagnesemia. ....	14
Tabla 7. Diferentes tipos de alimentos funcionales.....	15
Tabla 8. Composición promedio aproximado de la leche de vaca.....	17
Tabla 9. Distribución de minerales en la leche.....	21
Tabla 10. Consumo global de queso.....	23
Tabla 11. Producción industrial de leche y derivados lácteos en México. ....	26
Tabla 12. Composición de una micela de caseína típica.....	29
Tabla 13. Distribución de calcio en la leche con una base aproximada de 1200 mg/L. ....	31
Tabla 14. Valores calculados para algunos de los compuestos más importantes de calcio y magnesio en la leche. ....	32
Tabla 15. Cantidad de magnesio añadido para el enriquecimiento del queso Chihuahua.....	37
Tabla 16. Disoluciones utilizadas para la determinación de magnesio y calcio total. ....	40
Tabla 17. Composición de la leche al inicio y final del estudio. ....	47
Tabla 18. Prueba triangular de los quesos Chihuahua. ....	67
Tabla A-1. Contenido de magnesio y calcio total en los quesos Chihuahua. ....	86
Tabla A-2. Composición de los quesos Chihuahua (bh). ....	87
Tabla A-3. Composición de los quesos Chihuahua (bs). ....	88
Tabla A-4. Rendimiento de los quesos Chihuahua.....	89
Tabla A-5. Propiedades fisicoquímicas de los quesos Chihuahua. ....	90
Tabla A-6. Parámetros del proceso de manufactura de los quesos Chihuahua <sup>a</sup> ...	92

Tabla A-7. Contenido total relativos de calcio y magnesio en los quesos Chihuahua.....	93
Tabla A-8. Composición relativa de los quesos Chihuahua (bh). .....	94
Tabla A-9. Composición relativa de los quesos Chihuahua (bs).....	94
Tabla A-10. Rendimiento relativo de los quesos Chihuahua. ....	95
Tabla A-11. Propiedades fisicoquímicas relativas de los quesos Chihuahua. ....	96
Tabla A-12. Parámetros relativos del proceso de manufactura de los quesos Chihuahua <sup>a</sup> . ....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Balance de magnesio en el cuerpo humano.....	10
Figura 2. Comparación de consumo de queso de algunos países entre el 2009 y 2014. ....	25
Figura 3. Modelo (reticulado) de una micela de caseína. ....	31
Figura 4. Equilibrio mineral entre la fase acuosa y coloidal. ....	33
Figura 5. Función del fosfato de calcio coloidal en las micelas de caseína. ....	34
Figura 6. Contenido total relativo de magnesio en los quesos Chihuahua (bh).....	49
Figura 7. Contenido de calcio total relativo de los quesos Chihuahua (bh). ....	53
Figura 8. Humedad relativa de los quesos Chihuahua. ....	55
Figura 9. Proteína relativa de los quesos Chihuahua (bs). ....	57
Figura 10. Contenido de grasa relativa en los quesos Chihuahua (bs). ....	58
Figura 11. Sólidos totales relativos de los quesos Chihuahua.....	59
Figura 12. Ceniza relativa de los quesos Chihuahua (bs).....	60
Figura 13. pH relativo de los quesos Chihuahua.....	61
Figura 14. Rendimiento relativo de los quesos Chihuahua (bh). ....	62
Figura 15. Fundido relativo de los quesos Chihuahua.....	64
Figura 16. Firmeza relativa de los quesos Chihuahua. ....	65
Figura 17. Acidez relativa al término de la acidificación.....	68
Figura 18. Tiempo relativo de la acidificación. ....	69
Figura 19. Tiempo relativo de corte.....	70
Figura 20. Acidez relativa al término del cheddarizado.....	71

## 1. RESUMEN

La deficiencia de magnesio (Mg) provoca daños a la salud ya que este mineral participa en más de 300 reacciones enzimáticas en el cuerpo humano. El uso de alimentos funcionales para combatir la baja ingesta de nutrientes se ha incrementado debido a su efectividad y bajos costos. El propósito de este trabajo fue elaborar un queso funcional enriquecido con Mg que cumpla con los requerimientos diarios de este mineral, y no afecte los parámetros de calidad del queso. Para el enriquecimiento del queso se siguieron dos estrategias : (1) Adición directa de  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  a la leche durante la pasteurización (650-3011.4 mg de Mg/kg de queso), y (2) Adición directa del  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  a la cuajada durante el proceso de salado del queso (2629 y 26290 mg de Mg/kg de queso). El producto terminado se dejó madurar durante 7 días a 4°C. Después de este tiempo se realizaron los análisis fisicoquímicos y sensoriales correspondientes.

El enriquecimiento del queso mediante la adición directa de Mg en la leche y cuajada, mostró un mayor contenido de este mineral, así como también de humedad y proteínas, donde además se fomentó el fundido a medida que se elevó la concentración de Mg añadido. Por el contrario, el pH, el contenido de calcio (Ca) y grasa disminuyeron. La adición directa del Mg en la leche aumentó la acidez y redujo el tiempo de acidificación; mientras que el tiempo de corte aumentó cuando el queso se enriqueció con mayor cantidad de Mg. El desarrollo de sabores desagradables (amargo, ácido y metálico) y la disminución de la firmeza de los quesos enriquecidos aumento conforme la cantidad de Mg añadido se incremento. El contenido de ceniza aumentó respecto a los quesos control al adicionar el Mg; no obstante el incremento no fue proporcional a la cantidad de Mg añadida.

En general, el enriquecimiento del queso con Mg se logró por las 2 estrategias evaluadas. Sin embargo, la adición de Mg en la leche permitió obtener un queso con mayor contenido de este mineral (1766.44 mg de Mg/kg de queso), sin notarse efectos adversos en sus propiedades organolépticas por los consumidores.

## 2. ABSTRACT

Magnesium (Mg) deficiency causes harmful to health, this is due this mineral participates in more than 300 enzymatic reactions in the human body. The use of functional foods to reduce the low nutrient intake has increased due to its effectiveness and low costs. The aim of this work was to elaborate a functional cheese enriched with Mg that meets the daily requirements of this mineral, and it does not affect the quality parameters of the cheese. For the enrichment of the cheese, two strategies were followed: (1) Direct addition of  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  to the milk during pasteurization (650-3011.4 mg of Mg / kg of cheese), and (2) Direct addition of  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  to the curd during the cheese salting process (2629 and 26290 mg Mg / kg cheese). The finished product was ripened during 7 days at 4 ° C. After this time, the corresponding physiochemical and sensory attributes were performed.

Enrichment of the cheese by the direct addition of Mg in the milk and curd showed a higher content of this mineral, as well as moisture and proteins, where the meltability was also promoted as the concentration of added Mg increased. In contrast, pH, calcium (Ca) and fat content decreased. Direct addition of Mg in milk reduced the acidity and acidification time; while the cutting time increased as Mg added to cheese was augmented. The development of unpleasant flavors (bitter, acid and metallic) and the diminution of firmness in the enriched cheeses increment as the amount of added Mg is increased. The content of ashes was incremented in comparison with their controls due the adding of Mg; however, it wasn't proportional to the amount of Mg added.

In general, cheese enrichment with Mg was achieved by the 2 evaluated strategies. However, the addition of Mg in the milk allowed to obtain a cheese with higher content of this mineral (1766.44 mg of Mg / kg of cheese), without noticing adverse effects on its organoleptic properties by the consumers.

### 3. INTRODUCCIÓN

El Mg es un mineral imprescindible para el funcionamiento del cuerpo humano, ya que participa en más de 300 reacciones enzimáticas (Jahnen-Dechent and Ketteler, 2012; Bruno, 2013; Verdú, 2013). A pesar de su importancia, el magnesio no se consume en las cantidades requeridas, generándose en la mayoría de los casos una deficiencia de éste. Factores como el abuso de bebidas alcohólicas o enfermedades como hipotiroidismo, fomentan su deficiencia. Sin embargo, la principal causa, se debe a una ingesta insuficiente de alimentos ricos en Mg, ya que estos son difícilmente consumidos al ser de muy poco agrado para las personas (Flink, 1981; Kohlmeier, 1995; Ford and Mokdad, 2003; Vormann, 2003). Por ello, en el presente trabajo se propone la elaboración de un queso funcional como vehículo para ayudar a cumplir con la recomendación diaria de Mg, ya que el queso es un producto altamente consumido alrededor del mundo (Quezada, 2013; International Dairy Federation, 2015), al formar parte de muchas culturas culinarias.

Además, el proceso de elaboración de quesos permite que el enriquecer el queso con Mg hasta un contenido que sea significativo para combatir su deficiencia, sea altamente factible. El Mg y el Ca, por su configuración electrónica, tienen propiedades fisicoquímicas y atómicas similares (electronegatividad, radio atómico, densidad, etc.). Por tanto, puede suponerse que el Mg adicionado para enriquecer el queso, puede tener funciones y características similares al Ca. Diversos estudios han demostrado que las micelas de caseína contenidas en la leche, transportan gran cantidad de los cationes divalentes,  $\text{Ca}^{++}$  principalmente, y sales complejas, hasta la matriz del queso durante su proceso de manufactura, funcionando así como reservorios naturales (Farrell, 2013). De igual manera se conoce que la práctica común en las industrias queseras, de adicionar  $\text{CaCl}_2$  a la leche durante la manufactura de queso, ocasiona un aumento en su contenido total de Ca en el queso (Chevanan *et al.*, 2006; Ong *et al.*, 2013), debido al equilibrio dinámico de minerales que ocurre (Walstra and Jenness, 1984; Gaucheron, 2005; Philippe *et al.*, 2005; Griffiths, 2010). Con base a estos estudios,

se planteó que el adicionar  $MgCl_2$  para enriquecer los quesos, el Mg puede ser transportado de igual manera que el Ca de la leche al queso.

Sin embargo, en la actualidad no hay reportes que estimen si la adición de  $MgCl_2$  en la leche para queso, tiene impacto en el contenido total de Mg en el queso. A su vez se desconoce si la adición de  $MgCl_2$  en leche o cuajada producen el mismo impacto en las diferentes propiedades del producto terminado. Por lo tanto, en el presente estudio se planteó evaluar la efectividad de la adición de  $MgCl_2$  en leche y queso, en diferentes concentraciones para el desarrollo de un queso funcional rico en Mg, el cual tenga propiedades organolépticas y fisicoquímicas muy similares a los producidos típicamente por la industria quesera.

## 4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. Importancia de los minerales en la dieta humana

Los minerales son sustancias inorgánicas presentes en todos los tejidos y fluidos del cuerpo, y su presencia es necesaria para el mantenimiento de ciertos procesos fisicoquímicos que son esenciales para la vida. Cualquier forma de materia viva necesita estos elementos inorgánicos para todos sus procesos requeridos de una vida ordinaria (Hays and Swenson, 1985; Ozcan, 2003). La deficiencia o alteración en la nutrición causa una variedad de enfermedades que pueden agravarse de muchas maneras (Gordon, 1977). La presencia de elementos minerales en la alimentación es vital para los procesos metabólicos (McDowell *et al.*, 1984), ya que juegan un rol muy importante en la salud y sus deficiencias pueden repercutir gravemente sobre ella (Partwardhan, 1961; Deosthale and Belavady, 1978).

La ingesta diaria recomendada de nutrientes minerales son cantidades pequeñas, especialmente cuando se comparan con nutrientes como los carbohidratos, proteínas y lípidos. Los macrominerales son aquellos presentes en mayores proporciones de los tejidos del cuerpo, necesitando una mayor cantidad de ellos en la dieta. Los microminerales son esenciales en la dieta humana; sin embargo, son requeridos en menores cantidades (Tabla 1). También existen los elementos traza u oligoelementos, considerados así cuando su requerimiento diario es muy pequeño. Mertz (1981) definió a los oligoelementos como aquellos minerales que requieren una ingesta diaria menor a 18 mg. Verdú y Marín (1995) describieron a los macrominerales, como aquellos elementos que se requieren ingerir diariamente en una cantidad igual o mayor a 100 mg, y a los 'microminerales' como los minerales con un requerimiento de ingesta diaria generalmente menor a los 100 mg, los cuales incluyen los 11 oligoelementos esenciales.



**Tabla 1.** Principales funciones de los minerales presentes en los alimentos.

<b>Minerales</b>	<b>Funciones metabólicas</b>
<b>Microminerales</b>	
Cromo	Participa en el metabolismo de carbohidratos, ayuda a mantener los niveles de glucosa sanguínea.
Cobalto	Parte de la vitamina cianocobalamina.
Cobre	Participa en la síntesis del colágeno y elastina. Actúa como antioxidante. Participa en la formación de hemoglobina, células rojas y enzimas.
Fluoruro	Participa en la mineralización de los huesos y dientes. Inhibe la iniciación y progreso de caries dentales y estimula la formación de hueso nuevo.
Yoduro	Participa en el metabolismo de energía.
Hierro	Transporta oxígeno y electrones. Actúa en el metabolismo de células
Manganeso	Participa en la formación de hueso como antioxidante.
Molibdeno	Cofactor de varias enzimas envueltas en el catabolismo de aminoácidos que contienen azufre, purinas y pirimidinas.
Níquel	Puede servir como cofactor de enzimas microbianas y plantas, y facilita la absorción de hierro o el metabolismo en microorganismos.

Selenio Antioxidante celular, regulador de la hormona tiroidea, de los estados de reducción y oxidación de la vitamina C y otras moléculas.

Zinc Participa en la síntesis de proteínas, funciones inmunológicas, actúa en muchas enzimas involucradas en el metabolismo de macronutrientes implicados en la maduración sexual.  
Es requerido para las sensaciones de sabor.

### **Macrominerales**

Calcio Componente de huesos y dientes.  
Participa en la coagulación de la sangre y comunicación intracelular.

Cloro Junto con el sodio, mantiene el volumen del fluido exterior de las células y por lo tanto su buen funcionamiento.

Magnesio Participa en la formación de huesos y dientes.  
Actúa sobre la relajación muscular y el equilibrio ácido-base del organismo.

Fósforo Actúa en la formación de huesos y dientes.  
Forman los fosfolípidos presentes en las membranas celulares.  
Participa en el almacenamiento y transferencia de energía y síntesis de nucleótidos.

Potasio Mantiene el volumen del fluido dentro y fuera de las células, por lo tanto su buen

	funcionamiento.
	Actúa para mitigar el aumento de la presión sanguínea en respuesta a la ingesta excesiva de sodio.
	Disminuye los marcadores de recambio óseo y la recurrencia de cálculos renales.
Sulfuro (como sulfato inorgánico)	Proporciona sulfato cuando compuestos que contienen azufre son necesarios tales como sulfato de condroitina y sulfato de cerebroside.

---

\* Adaptado de Miguel de la Guardia y Salvador Garrigues (2015)

## 4.2. Importancia del magnesio en la dieta humana

El Mg es el segundo catión intracelular más abundante y el cuarto catión más abundante en el cuerpo. Tiene un rol esencial en varias funciones fisiológicas (Tabla 2) ( Swaminathan, 2003; Verdú, 2013; WHO, 1996). Esto se debe a que el Mg tiene la habilidad de formar quelantes con importantes aniones intracelulares (ATP), y su habilidad por competir con el Ca por los sitios de enlace en las proteínas y membranas (Ryan, 1991). Además, el Mg participa en más de 300 reacciones enzimáticas (Swaminathan, 2003; Verdú, 2013; Bruno, 2013).

**Tabla 2.** Ejemplos de las funciones del magnesio en el cuerpo humano.

Actividad biológica	Función específica
Funciones enzimáticas	Substrato enzimático (ATP-Mg – GTP-Mg) Coefactor enzimático
Función membranal	Adhesión celular Flujo transmembranal de electrolitos
Antagonista del calcio	Contracción/relajación muscular Liberador de neurotransmisores

Potencial de acción de conducción en el sistema nodal

Función estructural

Proteínas  
Polirribosomas  
Ácidos nucleicos

---

\* Adaptado de Swaminathan R, 2003.

#### 4.2.1. Metabolismo del magnesio

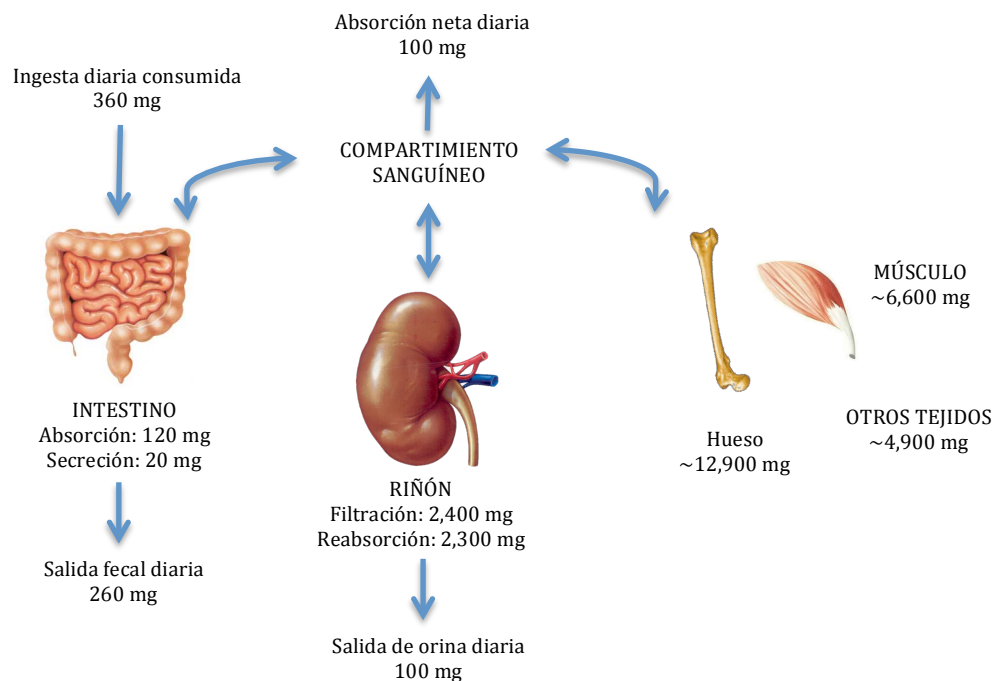
Alrededor del 99% del Mg total del cuerpo se encuentra en los huesos, músculos, y tejidos blandos no vasculares (Elin , 2010). En la Tabla 3 se puede observar la distribución del Mg en el cuerpo.

**Tabla 3.** Distribución de magnesio en un adulto.

Tejido	Contenido (mmol)	% total de magnesio en el cuerpo
Suero sanguíneo	2.6	3
Glóbulos rojos	5.0	0.5
Tejido blando	193.0	19.3
Músculo	270.0	27
Hueso	530.1	52.9
Total	1000.7	100.0

\* Adaptado de Elin, 2010.

La homeostasis del Mg se mantiene por el intestino, el hueso y los riñones. El Mg se absorbe principalmente en el intestino delgado (Touyz, 2004; Fox *et al.*, 2001; Graham *et al.*, 1960.), aunque una pequeña cantidad se absorbe en el intestino grueso (Elin, 2010; Saris *et al.*, 2000; Kayne and Lee, 1993). Se almacena la mayor parte en los huesos, y el exceso se excreta por el riñón (orina) y las heces (Figura 1).



**Figura 1.** Balance de magnesio en el cuerpo humano.

Valores indicados con base a Elin (2010). Adaptado de Jahnen-Dechent and Ketteler, 2012.

### 4.3. Ingesta recomendada diaria de magnesio

Para mantener un estado óptimo de salud, se requiere del consumo regular de Mg. Sin embargo, las recomendaciones de ingesta diaria de Mg actuales, varían incluso de un país a otro. Generalmente se reportan valores  $\geq 300$  mg/día, modificando las dosis dependiendo de la edad, sexo y estatus alimenticios. El Instituto de Medicina de EE. UU. recomienda ingestas de 310 – 360 mg y 400 – 420 mg para mujeres y hombres adultos respectivamente (Tabla 4). Otros estudios recomiendan rangos menores como 350 mg para hombres y 300 mg para mujeres (Weast, 1987; Elin, 1988; Saris et al., 2000).

**Tabla 4.** Recomendaciones de ingesta diaria de magnesio.

Edad (años)	Mujeres	Hombres
IOM - 1997		
1 – 3	80	80
4 – 8	130	130
9 – 13	240	240
14 – 18	360	410
19 – 30	310	400
31 – 50	320	420
51 – 70	320	420
> 70	320	420
Embarazo	+ 40	
Lactancia	+ 0	
D-A-CH referencia de ingesta 2000		
1 – 4	80	80
4 – 7	120	120
7 – 10	170	170
10 – 13	230	250
13 – 15	310	310
15 – 19	350	400
19 – 25	310	400
25 – 51	300	350
51 – 65	300	350
> 65	300	350
Embarazo	310	
Lactancia	390	
México - Héctor Bourges <i>et al.</i> , 2005		
1 – 3	80	80
4 – 8	130	130
9 – 13	240	240
14 – 18	320	360
19 – 30	260	340
31 – 50	260	340
51 – 70	260	340
> 70	260	340
Embarazo	285	
Lactancia	250	

\*Adaptado de Jürgen-Vurmenn (2003) principalmente.

#### **4.3.1. Deficiencia de magnesio**

Se han realizado varios estudios, que demuestran que la ingesta de Mg diaria es insuficiente, provocando en muchos casos la deficiencia de Mg (hipomagnesemia) (Flink, 1981; Kohlmeier, 1995; Ford and Mokdad, 2003; Vormann, 2003; Lee, 2012). La principal causa de la baja ingesta o deficiencia de Mg se debe a una dieta no balanceada (Flink, 1981; Kohlmeier, 1995; Ford and Mokdad, 2003; Vormann, 2003). Generalmente, la dieta común de la población en México y el mundo, se basa en el consumo de carnes blancas o rojas, pescado, leche, frutas y productos refinados, los cuales no son fuente natural de Mg (Tabla 5). Otro problema que se debe tener muy en cuenta, es que en la preparación de alimentos, especialmente en la cocción, una parte muy considerable de Mg se pierde (Swaminathan, 2003), además que se absorbe solo un 40 – 60% de una ingesta promedio de 380 mg/día (Schwartz *et al.*, 1984). Se sabe que el refinado y procesado de los alimentos puede disminuir su contenido de Mg en un 85%, aproximadamente (Swaminathan, 2003). Debido a ello, la ingesta de Mg está disminuyendo en la dieta occidental ya que el consumo de estos alimentos refinados y procesados está al alza (Ford and Mokdad, 2003).

**Tabla 5.** Contenido de magnesio de diversos alimentos (Dorice *et al.* 2000).

<b>Alimento</b>	<b>Cantidad (mg/100 g)</b>
<b>Carnes</b>	1.6 – 36
Hígado	21.0
Carne magra	22.0
<b>Pescado azul</b>	23 – 31
Sardina	25.1
Atún	28
<b>Pescado blanco</b>	20 – 42.1
Lenguado	25.1
Merluza	29.0
<b>MARISCOS</b>	23 – 42
Mejillones	23
Gambas	42
<b>Huevo</b>	12.0
<b>Lácteos</b>	11.6 – 46
Yogur natural	14.3
Queso manchego	29.0
Leche entera	11.6
<b>Legumbres</b>	75 – 190
Garbanzos	122.0
<b>Frutos secos</b>	122 – 358
Nueces	358.0
<b>Cereales</b>	28 – 132
Pan	25.1
Macarrones	53.0
<b>Verduras y hortalizas</b>	7 – 126
Patatas	19.9



Espinacas	58.0
<b>Frutas</b>	<b>4 – 36</b>
Plátanos	36.4
Naranjas	15.2

Existe una amplia variedad de razones por las cuales puede presentarse una baja ingesta o deficiencia de Mg (Tabla 6). Se han reportado que una ingesta elevada de Ca, fitatos, proteínas, vitamina D y alcohol, así como el esfuerzo físico e intelectual o el estrés psicológico, la lactancia y los periodos de crecimiento aumentan las necesidades de Mg (Verdú, 2005).

**Tabla 6.** Causas de hipomagnesemia.

<b>Causa</b>	<b>Efecto</b>
La disminución de la ingesta en la dieta	Mala nutrición – Desnutrición Infusiones parenterales sin magnesio
Mala absorción gastrointestinal	Diarrea crónica severa o prolongada
Aumento de pérdida renal	Defectos tubulares congénitas o adquiridas
Causas endocrinas	Hiperaldosteronismo primario y secundario El síndrome del hueso hambriento Síndrome de inapropiada hipersecreción de hormona antidiurética Diabetes mellitus
Otras causas	Estrés Alcoholismo crónico Lactancia excesiva, el calor, el ejercicio prolongado Quemaduras severas Cirugía de bypass cardiopulmonar iatrogénica

\* Adaptado de Swaminathan, 2003.

#### 4.4. Los alimentos funcionales y sus variedades.

En las últimas décadas, cada vez más personas son más conscientes de que una dieta balanceada contribuye directamente a su salud (Mollet & Rowland, 2002; Young, 2000). En la actualidad los alimentos ya no solo pretenden satisfacer el hambre y nutrir, sino también mejorar el bienestar físico y mental de las personas (Menrad, 2003; Roberfroid, 2000a). Un alimento se etiqueta como funcional cuando se adicionan ingredientes tecnológicamente desarrollados, con un beneficio específico en la salud (Niva, 2007). Sin embargo, no existe una definición global para los alimentos funcionales, ya que en muchos países no hay una definición legislativa del término (Alzamora *et al.*, 2005; Mark-Hebert, 2004; Niva, 2007). Debido a esto, varias autoridades nacionales, organismos académicos e industriales, han propuesto definiciones para los alimentos funcionales. Por ejemplo, algunos autores, los definen como "Aquellos alimentos que pueden proporcionar beneficios para la salud más allá de la nutrición básica" o "Alimentos de apariencia similar a los alimentos convencionales que se diseñaron para ser consumidos como parte de una dieta normal, pero que se han modificado para favorecer las funciones fisiológicas más allá de los simples requerimientos nutricionales" (Spence, 2006; Bech-Larsen & Grunert, 2003). Las variedades de alimentos funcionales que se pueden crear o desarrollar son muy extensas, limitadas solo por la creatividad humana y la disposición de los consumidores de pagar por los beneficios de dichos alimentos (Spence, 2006). Los tipos más destacados de los alimentos funcionales se describen en la siguiente tabla:

**Tabla 7.** Diferentes tipos de alimentos funcionales.

<b>Tipos</b>	<b>Descripción</b>
Productos fortificados	Se adicionan una o varias vitaminas, minerales o proteínas (aminoácidos) que normalmente no contiene el producto
Productos enriquecidos	Se adicionan una o varias vitaminas,

	minerales o proteínas (aminoácidos) en concentraciones superiores a los que normalmente contiene el producto.
Productos alterados	Se sustituyen los componentes existentes con componentes beneficiosos.
Productos mejorados	Se altera la composición de los nutrientes en los productos crudos.

---

NOM-086-SSA1-1994; Spence, (2006)

Algunos ejemplos generales de alimentos funcionales son (Siro, 2008):

- Probióticos
- Prebióticos
- Bebidas funcionales
- Cereales funcionales
- Productos de panadería
- Carne funcional
- Huevos funcionales
- Alimentos untables funcionales

Los alimentos funcionales han adquirido gran importancia en la industria alimenticia. El incremento en la demanda de alimentos que benefician de esta manera la salud también se ve influenciado por el alza de los costos del cuidado de la salud, el aumento constante de la esperanza de vida y el deseo de mejorar la calidad de vida (Kotilainen, Rajalahti, Ragasa, & Pehu, 2006; Roberfroid, 2000a, 2000b).

#### **4.5. Leche y su composición**

La leche (bovina) es un fluido secretado por las vacas cuya función es satisfacer las necesidades nutrimentales de los animales recién nacidos. Técnicamente, se describe como una suspensión coloidal, donde se encuentran

glóbulos de grasa, proteínas, lactosa, vitaminas, enzimas y minerales, tanto en la fase micelar como en la fase continua, siendo esta última mayormente agua (Walstra *et al.*, 2006). La leche se define también como un fluido complejo en el cual interactúan muchos microsistemas, que pueden ser aprovechados para elaborar diversos productos como son queso, yogurt, mantequilla, crema, etc. La composición de la leche es muy variable ya que depende de la raza, salud, alimentación, edad e intervalo de ordeña del animal (Walstra *et al.*, 2006). La siguiente tabla nos muestra la composición típica de la leche de vaca cruda.

**Tabla 8.** Composición promedio aproximada de la leche de vaca.

Compuesto	Contenido promedio en la leche (%)	Rango <sup>a</sup> (%)
Agua	87.71	85.3-88.7
Sólidos no grasos	8.9	7.9-10.0
Lactosa	4.6	3.8-5.3
Grasa	4.0	2.5-5.5
Proteína	3.3	2.3-4.4
Caseínas	2.6	1.7-3.5
Minerales	0.7	0.57-0.83
Ácidos Orgánicos	0.17	0.12-0.21
Otros	0.15	-

<sup>a</sup> Estos valores raramente son excedidos.

\* Adaptado de Walstra, (2006).

#### 4.5.1. Macrocomponentes

El principal componente en la leche es el agua, la cual constituye aproximadamente el 87.1% de su composición. Es considerada la fase continua, es decir donde se encuentran suspendidos o dispersos los glóbulos grasos así como algunas proteínas. Asimismo, en el agua se encuentran solubilizados minerales, vitaminas y algunas proteínas.

#### 4.5.1.1. Proteínas

Son consideradas como el constituyente más importante de la leche ya que son las más diversas y complejas. Las proteínas de la leche constituyen aproximadamente el 3.5% y se clasifican en dos grupos según su solubilidad: las caseínas (insolubles) y proteínas séricas (solubles). Las proteínas séricas representan el 20% de la proteína total en la leche. Las principales proteínas del suero son  $\beta$ -lactoglobulina,  $\alpha$ -lactoalbúmina, albúmina sérica, inmunoglobulinas y proteosa peptonas (Fox & McSweeney, 1998).

Las caseínas representan aproximadamente el 80% de la proteína total. La leche contiene 4 tipos de caseínas:  $\alpha_{s1}$ -,  $\alpha_{s2}$ -,  $\beta$ -, y  $\kappa$ -caseína (Farrel, 2011), las cuales se detallan a continuación:

$\alpha_{s1}$ -caseína: Tiene la carga neta negativa más alta en un tampón a pH neutro, con sólo cationes monovalentes presentes y tiene una hidrofobicidad calculada de 1170 kcal/mol. Una de sus regiones hidrófobas está muy cerca de su carbono terminal. Tiene una región muy ácida, que es responsable de la unión fuerte con el Ca. En contraste, la región de su nitrógeno terminal está cargado positivamente y podría posiblemente ligar fosfato inorgánico. Es altamente dependiente del pH y de la fuerza iónica.

$\alpha_{s2}$ -caseína: Es la caseína menos abundante, es menos hidrófoba (1100 kcal/mol) y es la más altamente variable y fosforilada de las caseínas. Contiene la región de carga positiva más alta de todas las caseínas (160-207), la cual es hidrofóbica. Su comportamiento en general es muy similar a la de la  $\alpha_{s1}$ -caseína.

$\beta$ -caseína: Son las caseínas más hidrófobas (1335 kcal/mol) y una región en su nitrógeno terminal muy ácida. Tiene un alto número de residuos de prolina. Si esta proteína es alterada por la plasmina, se obtendrán residuos que serán las progeínas proteosa-peptona y la  $\gamma$ -caseína.

$\kappa$ -caseína: Esta proteína, que constituye el 10-12% de la caseína completa, juega un papel crucial en la estabilización de las micelas de caseína en la leche y, después de la escisión enzimática, desestabiliza el sistema de caseína coloidal. La escisión enzimática que provoca esta transformación es importante para la producción de muchas variedades de queso. Su dominio de nitrógeno terminal tiene una carga neta positiva, es muy hidrófoba, e interactúa fuertemente con las otras moléculas de caseína. El dominio del carbono terminal (residuos 113-169) tiene una carga neta negativa y contiene una preponderancia de residuos polares; la hidrofobicidad global de la proteína es 1.205 kcal/mol.

En la leche fresca, las caseínas están presentes en la forma de partículas esencialmente esféricas que contienen muchas moléculas de proteínas y fosfato de Ca amorfo, llamadas micelas de caseína.

#### **4.5.1.2. Lípidos**

El contenido de grasa en la leche es de aproximadamente 3.5%. Se componen de triglicéridos (98%) y fosfolípidos (1%), así como de pequeñas cantidades de diglicéridos, monoglicéridos, colesterol, ésteres de colesterol, trazas de vitaminas liposolubles y otros lípidos. La leche se considera una emulsión de aceite en agua debido a que casi todos los lípidos se encuentran en los glóbulos de grasa (Thompson, 2009).

#### **4.5.1.3. Carbohidratos**

La lactosa es el principal carbohidrato presente en la leche, aunque podemos encontrar cantidades pequeñas de otros azúcares como glucosa (500 mg/L), fructosa, glucosamina, galactosamina, ácido neuramínico, oligosacáridos neutros y ácidos. El contenido de lactosa en la leche de bovino es de aproximadamente 4.8% (Badui, 2013).

## **4.5.2. Microcomponentes**

Los microcomponentes principales en la leche son las vitaminas, las enzimas y los minerales, siendo estos últimos de gran importancia técnica en la estabilidad de la leche y en la fabricación de productos lácteos como el queso.

### **4.5.2.1. Enzimas**

Se encuentran en la leche en diferentes formas: asociadas a las membranas de los glóbulos de grasa, a las micelas de caseína y como parte de las partículas microsomales. La leche contiene alrededor de 60 enzimas diferentes. La participación y distribución de estas enzimas son afectadas de acuerdo al proceso que se someta y las condiciones de almacenamiento (Walstra, 2006).

### **4.5.2.2. Minerales**

Los minerales más abundantes son el sodio, potasio, calcio y magnesio. Se encuentran principalmente en forma de sales de fosfatos, citratos, cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos. Estas sales son de suma importancia en la leche, ya que tienen papeles muy importantes como la estabilización de las micelas de caseína por ejemplo. Los minerales están distribuidos en la fase micelar y en la fase continua como se muestra en la Tabla 9 (Fox & McSweeney, 1998).

**Tabla 9.** Distribución de minerales en la leche.

Mineral	Contenido total (mg/L)	Fase micelar (mg/L)	Fase continua (mg/L)
Calcio	1200	828	372
Magnesio	130	61.1	68.9
Sodio	500	25	475
Potasio	1450	87	1363
Fósforo	750	397.5	352.5
Citrato	1750	245	1505
Cloruro	1200	60	1140
Sulfato	100	0	100

Adaptado de Fox & McSweeney, (1998) y de Lucey y Horne, (2009).

La interacción de los macro y microcomponentes durante la elaboración de productos lácteos, definen y otorgan sus propiedades. Los quesos en específico dependen, además de estas interacciones, de la presencia de un alto contenido de lípidos, proteínas y Ca en la leche. Por lo cual, el control que se tenga sobre el contenido de estos compuestos en la leche y del cambio que puedan tener durante procesos previos a la elaboración de quesos es crucial (Sepúlveda *et al.*, 2012).

#### 4.6. Queso

El queso es el nombre genérico para un grupo de productos lácteos fermentados, producido en todo el mundo en una gran diversidad de sabores, texturas y formas; hay más de 1000 variedades de queso (Fox *et al.*, 2004). Se entiende por queso al producto blando, semiduro, duro y extra duro, madurado o no madurado, y que puede estar recubierto, en el que la proporción entre las proteínas de suero y la caseína no sea superior a la de la leche, obtenido mediante:



- a) “Coagulación total o parcial de la proteína de la leche, leche desnatada/descremada, leche parcialmente desnatada/descremada, nata (crema), nata (crema) de suero o leche de mantequilla/manteca, o de cualquier combinación de estos materiales, por acción del cuajo u otros coagulantes idóneos, y por escurrimiento parcial del suero que se desprende como consecuencia de dicha coagulación, respetando el principio de que la elaboración del queso resulta en una concentración de proteína láctea (especialmente la porción de caseína) y que por consiguiente, el contenido de proteína del queso deberá ser evidentemente más alto que el de la mezcla de los materiales lácteos ya mencionados en base a la cual se elaboró el queso; y/o”
  
- b) “Técnicas de elaboración que comportan la coagulación de la proteína de la leche y/o de productos obtenidos de la leche que dan un producto final que posee las mismas características físicas, químicas y organolépticas que el producto definido en el apartado (a)” (FAO, CODEX STAN 283-1978).

Básicamente es el producto que resulta de la precipitación de las caseínas. Para llevar a cabo este proceso, se emplean elementalmente tres métodos: (1) Adición de la renina o cuajo; (2) acidificación hasta un pH de 4.6, el cual es el punto isoeléctrico de las caseínas; (3) acidificación a un pH de 5.2-5.5 y calentamiento de 90 °C (Badui, 2013). La conversión de la leche en cuajada involucra diferentes operaciones, todas intercaladas entre sí; las cuales son la coagulación, acidificación, sinéresis y deshidratación, moldeado y prensado, y salado (Lucey and Fox, 1993). La producción de todas las variedades de queso implica un protocolo generalmente similar al antes mencionado, donde dependiendo de las características deseadas a obtener en el queso se modifican varios pasos (Fox *et al.*, 2000).

#### 4.6.1. Importancia

La Federación Internacional de Lechería menciona que la producción mundial de queso está creciendo a un ritmo de aproximadamente del 2% anual; y para el 2014 su producción llegó a alrededor de 22 millones de toneladas. Las principales regiones de producción fueron la Unión Europea, quien aportó un poco menos de la mitad de este volumen, y los EE.UU., con aproximadamente una cuarta parte de este total. Se estima que para el año 2024, el queso seguirá teniendo el mismo crecimiento anual (2%), según la Federación Internacional de Lechería (FoodBev, 2016). En la siguiente tabla se muestra el consumo global per cápita de queso por año.

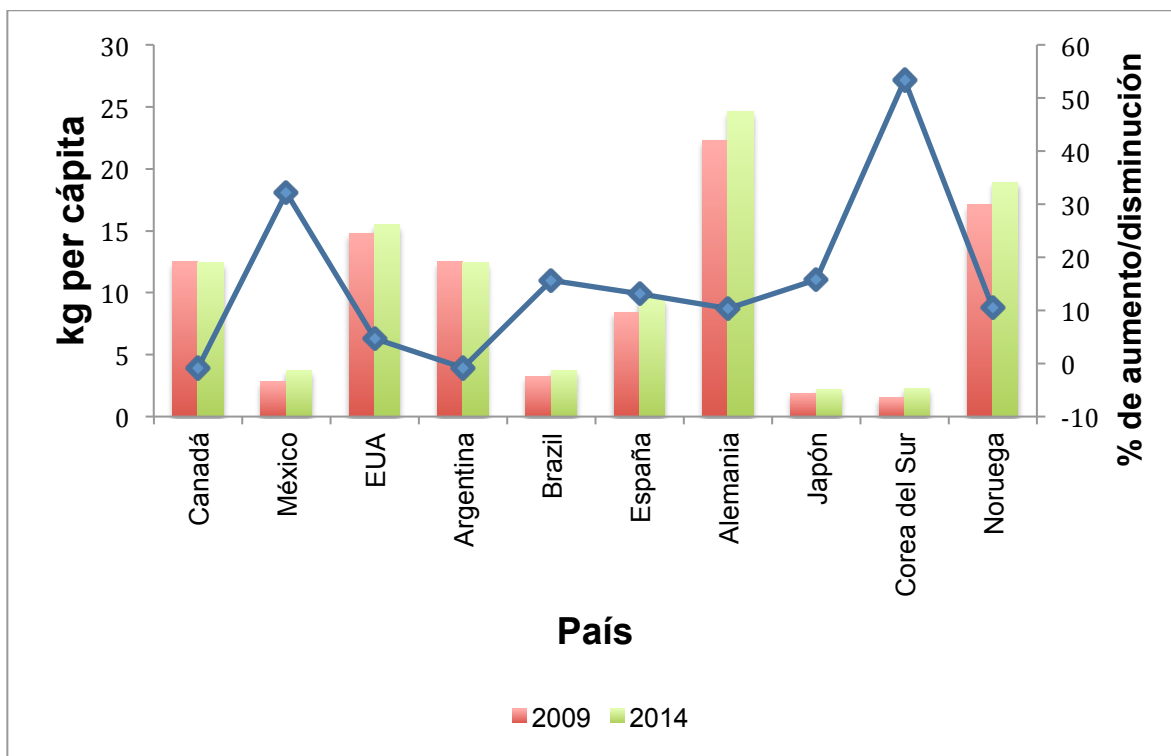
**Tabla 10.** Consumo global de queso (kg per cápita).

<b>Norte América y Centro América</b>						
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<b>Canadá</b>	12.5	12.6	12.4	12.3	12.7	12.4
<b>México</b>	2.8	2.8	3.1	3.1	3.6	3.7
<b>Estados Unidos</b>	14.8	15	15.2	15.2	15.3	15.5
<b>América del Sur</b>						
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<b>Argentina</b>	12.5	11.2	11.4	12.3	12.5	12.4
<b>Brazil</b>	3.2	3.4	3.6	3.6	3.7	3.7
<b>Chile</b>	5.8	6.4	7.2	8.1	8.8	9
<b>Colombia</b>	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
<b>Ecuador</b>	-	-	-	6.3	6.2	6.2
<b>Uruguay</b>	6.1	6.4	6.2	5.3	6	7.7
<b>Unión Europea</b>						
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<b>Unión Europea (28)</b>	16.7	17.2	17.3	17.3	17.2	17.9
<b>Austria</b>	19.1	18.2	20	20.3	19.9	20.9
<b>Bélgica</b>	15.5	16	15.3	15.3	15	15.1
<b>Bulgaria</b>	-	-	-	15.9	16.4	16.4
<b>Croacia</b>	7.1	8.7	7.7	9.6	10.2	11.2
<b>República Checa</b>	-	-	-	16.6	16	16.3
<b>Dinamarca</b>	-	-	-	19.4	20.2	24.6
<b>Estonia</b>	18.9	19.6	20.8	21	21.3	21.5
<b>Finlandia</b>	20.9	21.4	22.5	23.7	24.7	25.6
<b>Francia</b>	26.5	26.6	26.2	26.1	26.2	26.7

Alemania	22.3	23.5	24.2	24.2	24.3	24.6
Hungría	11	11.5	11	11.5	11	11.6
Irlanda	6.2	7.3	6.9	10.7	11	11.5
Italia	21	21.1	22.3	21.4	20.5	20.1
Letonia	13.3	14.4	14.3	16	16.9	16.6
Lituania	14.7	13.9	16.1	17.5	20.1	18.6
Países Bajos	19	19.5	18.5	21.3	20.1	20.1
Polonia	10.8	11.3	11.4	15.6	15.6	16
Eslovaquia	9.5	10	10.3	10.1	11.4	11.7
España	8.4	9.5	9.5	9.3	9.5	9.5
Suecia	18.7	18.9	19	19.7	19.8	20.8
Reino Unido	10.9	11.3	11	11.4	11.6	11.7
<b>Otros Países Europeos</b>						
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Islandia	23.8	24.2	24.2	25.2	25.2	25.8
Noruega	17.1	17.3	17.4	17.7	18.1	18.9
Rusia	5.6	5.9	5.8	5.7	6.1	5.8
Suiza	21.6	22	21.8	21.2	21.3	21.6
Ucrania	5.2	4.7	4.1	4.3	4.6	4.3
<b>Medio Este</b>						
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Irán	4.8	4.8	4.8	4.9	5	4.8
Israel	15.9	17	16.3	16.7	16.3	16.3
Turquía	3.5	6.2	6.8	7.2	7.6	7.8
<b>África</b>						
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Egipto	-	-	-	4.5	4.5	4.6
Sudáfrica	1	1	1.4	1.9	1.8	1.8
Tanzania	-	-	-	0.3	0.3	0.3
Zimbabue	-	-	-	-	0.3	0.6
<b>Asia</b>						
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Japón	1.9	1.9	2.1	2.2	2.2	2.2
Kazajstán	-	2.2	2.5	2.5	2.7	2.6
Corea del Sur	1.5	1.8	2	2	2.1	2.3
Mongolia	-	-	-	0.3	0.3	0.2
<b>Oceanía</b>						
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Australia	12.2	12	13.3	13.5	13.4	13.6
Nueva Zelanda	5.6	5.5	6.8	8.7	8.7	-

- Centro de Información de Productos Lácteos Canadiense (2015)

Como se muestra en la Tabla 10, México es un país con un bajo consumo de queso. No obstante, del 2009 al 2014 se ha observado un incremento del 32% en su consumo (Figura 2).



**Figura 2.** Comparación de consumo de queso de algunos países entre el 2009 y 2014.

A su vez, la producción de queso en México aumenta con los años como se observa en la Tabla 11. A pesar de que se tiene esta información, las cifras deben tomarse con tiento debido a que se basan en información proporcionada por establecimientos sujetos a registro censal; falta la información correspondiente a los innumerables negocios (fabricantes y/o expendedores) que operan en la economía informal en toda la República Mexicana (Villegas, 2004).

**Tabla 11.** Producción industrial de leche y derivados lácteos en México.

Año/Producto	Producción (Toneladas)		
	Leche Pasteurizada <sup>a</sup>	Ultrapasteurizada <sup>b</sup>	Quesos <sup>c</sup>
2005	3,049,707	1,448,734	187,405
2006	2,978,866	1,512,869	202,593
2007	2,871,632	1,601,620	229,498
2008	2,834,948	1,748,865	239,364
2009	2,811,882	1,790,263	255,670
2010	2,791,100	1,650,258	275,316
2011	2,742,719	1,482,043	275,413

<sup>a</sup> Incluye leche pasteurizada, homogenizada entera, descremada, rehidratada y de sabores (Miles de litros).

<sup>b</sup> Incluye leche ultrapasteurizada, entera y descremada (Miles de litros).

<sup>c</sup> Incluye quesos Amarillo, Chihuahua, Crema, Doble Crema, Fresco, Manchego, Oaxaca, Panela y otros.

Fuente: Encuesta mensual de la industria manufacturera (EMIM). INEGI.

\* Adaptado de Análisis del sector lácteo en México, 2012.

#### 4.6.2. Proceso de elaboración de quesos obtenidos por cuajado enzimático

Alrededor de un 75% de los quesos totales se realizan a través del cuajado enzimático. Su proceso de manufactura se considera un proceso de deshidratación, donde las caseínas y los lípidos se concentran alrededor de 10 veces (Lucey and Fox, 1993). El cuajado enzimático tiene varias ventajas, como son una coagulación más rápida (minutos) que comparado con el cuajado por acidificación, este dura horas. Además, el cuajado enzimático mejora el proceso de sinéresis obteniendo así quesos con niveles de humedad menores. La coagulación de la leche mediante el cuajo se puede dividir en dos etapas: (1) etapa de la hidrólisis enzimática y (2) etapa de agregación. Aunque estas sean dos diferentes etapas, estas se superponen en cierta medida durante la coagulación en el proceso de elaboración del queso (Lucey, 2011). En la primera etapa, la  $\kappa$ -caseína es la única proteína que se hidroliza, y se hidroliza la sección de su carbono terminal, específicamente en la ligadura de Phe105-Met106. La terminal nitrógeno ( $\kappa$ -CN Phe105) de la molécula, conocida como para- $\kappa$ -caseína, permanece atada a la micela de caseína debido a que es extremadamente hidrófoba, mientras que la sección del carbono terminal conocida como (caseino) macro-peptido (CMP), o bien glicomacropéptido (GMP) debido a la gran cantidad

de residuos de azúcares que contiene, se pierde en el medio acuoso al ser hidrófilo (Fox, 2000). Al hidrolizarse los glicomacropéptidos, que como se mencionó anteriormente eran los segmentos hidrofílicos de la  $\kappa$ -caseína que rodea a las micelas, produce que las mismas tengan un descenso en su potencial  $\zeta$ . El potencial eléctrico se mantenía por la relación de carga ejercida entre las superficies hidrófilas de las micelas y el medio dispersante. Por lo que al disminuir el potencial se reducen las repulsiones intermicelares (estérica y electroestática) y la estabilidad coloidal del sistema de caseínas. Permitiendo así el acercamiento entre las micelas, facilitando y promoviendo su agregación. La naturaleza de las fuerzas de atracción durante la agregación de las micelas de caseína todavía no está completamente claro, aunque se sospecha que puentes de Ca, fuerzas de van der Waals e interacciones hidrofóbicas pueden estar involucrados. Cuando aproximadamente un 85% de la  $\kappa$ -caseína total se ha hidrolizado, las micelas de caseína comienzan a agregarse, pero una micela individual no puede participar en la gelificación hasta que aproximadamente un 97% de su  $\kappa$ -caseína se ha hidrolizado. La reducción del pH o el aumento de la temperatura a partir de los valores normales (aprox. 6.6 y 31 °C, respectivamente) permite la coagulación en un menor grado de hidrólisis de  $\kappa$ -caseína. Al agregarse se empieza a formar una red tridimensional (gel) y se expulsa el agua residual (sinéresis), mejor conocido como suero. La coagulación de las micelas hidrolizadas depende de la concentración de Ca que puede actuar reticulando, posiblemente a través de residuos de fosfato de serina, o simplemente por la neutralización de la carga. El fosfato de Ca coloidal es también esencial para la coagulación pero se puede sustituir por el aumento de  $\text{Ca}^{2+}$  (Fox, 1984; Fox y Mulvihill, 1990; Dalgleish, 1992, 1993).

#### **4.6.3. Componentes de la leche involucrados en la manufactura de queso**

La cuajada es una estructura tridimensional formada básicamente por micelas de caseína, agua y minerales. No obstante, otros componentes de la leche como las enzimas, la grasa, y carbohidratos, quedan atrapados

mecánicamente dentro de ésta red de los agregados de las micelas de caseína. La grasa es probablemente el componente atrapado en la cuajada más importante debido no sólo a las características sensoriales que confiere al queso como producto terminado, sino a que también proporciona características de firmeza, y cambios en la retención de agua a la red estructural aumentando la calidad y rendimiento del queso. Aunque las diferentes variedades de queso dependen de la distribución y cantidad de sus componentes, todos aquellos provenientes del cuajado enzimático, requieren una adecuada composición de caseínas y Ca para su formación, por lo que el conocimiento y manejo de la composición de las micelas de caseína es fundamental (Walstra *et al.*, 2006).

#### **4.6.3.1. Micelas de caseína**

En la leche, miles de moléculas de caseína forman agregados de tamaño coloidal llamados micelas de caseína. Las micelas de caseína contienen aproximadamente del 85% al 90% de las caseínas existentes en la leche. Existen como agregados micelares, porosos y esféricos. Son un sistema de empaquetamiento natural que convierten la leche en un fluido de baja viscosidad que proporciona los medios para el transporte de altos niveles de proteínas y minerales (Horne, 2011). La estabilidad de las micelas es de suma importancia para muchas de las propiedades tecnológicamente importantes de la leche como la elaboración de quesos (Huppertz *et al.*, 2004).

La microscopía electrónica muestra que las micelas de caseína son esferas con un diámetro en el rango de 50-500nm y una masa que oscila desde 106 hasta 3109 Da. Hay numerosas micelas pequeñas, pero éstas representan sólo una pequeña proporción de la masa. Existen 10<sup>14</sup>-10<sup>16</sup> micelas/mL de leche, las cuales se encuentran separadas aproximadamente dos diámetros de micelas (250 nm) de distancia entre ellas. La materia seca de las micelas es 94% de proteína y 6% en masa de especies de bajo peso molecular, que consiste principalmente de fosfato de Ca con un poco de Mg y citrato y cantidades de otros elementos traza

(Tabla 12), que se refiere colectivamente como fosfato de Ca coloidal (CCP). Las micelas unen 2.0 g de H<sub>2</sub>O/g de proteína.

En promedio una micela de caseína tiene un contenido de humedad aproximadamente de un 63% (O'Mahony and Fox, 2014).

**Tabla 12.** Composición de una micela de caseína típica.

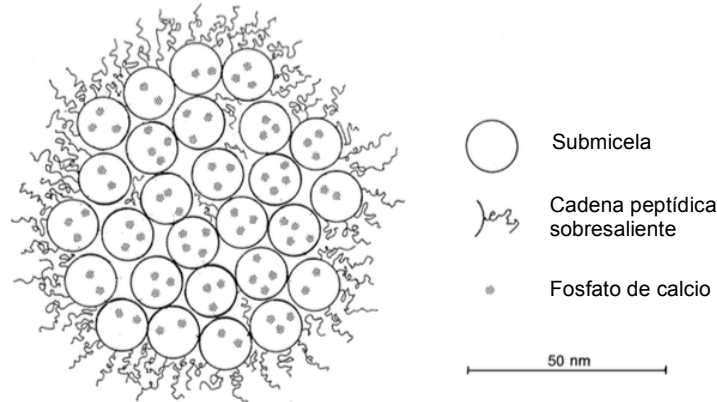
	g/100 g micela
$\alpha_{s1}$ -caseína	35.6
$\alpha_{s2}$ -caseína	9.9
$\beta$ -caseína	33.6
$\kappa$ -caseína	11.9
$\gamma$ - R-, S- y TS-caseína	2.3
Caseína total	93.3
Calcio	2.87
Magnesio	0.11
Sodio	0.11
Potasio	0.26
Fosfato inorgánico (PO <sub>4</sub> )	2.89
Citrato	0.4
Material inorgánico	6.6

\*Adaptado de Fox & McSweeney (1998)

La  $\kappa$ -caseína que representa el 11.9% de todas las caseínas, es impredecible para la estructura y estabilidad de la micela, ya que estabiliza la afinidad del Ca de las  $\alpha_{s1}$ -,  $\alpha_{s2}$ - y  $\beta$ -caseínas, que representan el 79% de las caseínas totales (Fox, 1998). Se cree que las moléculas de  $\kappa$ -caseína que conforman la superficie exterior de la micela, forman una capa (vellosa) que provee estabilización estérica, con sus péptidos de carbono terminal hidrófilos que sobresalen a la fase acuosa. La formación de la cuajada es una consecuencia directa de la proteólisis de la  $\kappa$ -caseína mediante quimosina (Horne, 2011). El contenido de  $\kappa$ -caseína de las micelas es inversamente proporcional a su tamaño, mientras que el contenido del fosfato de Ca coloidal (CCP) es directamente proporcional al su tamaño. La remoción del CCP resulta en la desintegración de las micelas en partículas de masa de aproximadamente  $3 \times 10^6$  Da. Cuando se calientan las caseínas en presencia de las proteínas séricas como sucede en la leche normal, la  $\kappa$ -caseína y la  $\beta$ -lactoglobulina interaccionan para formar



complejos por enlaces bisulfuro que modifican las propiedades de las micelas incluyendo el cuajado enzimático y la estabilidad por calor. Si la temperatura disminuye, la  $\beta$ -caseína se disocia de la micela. A 4 °C, aproximadamente entre el 10 y 50 % de la  $\beta$ -caseína se encuentra en la fase continua. Valores de micelas sedimentadas por ultracentrifugación sugieren que la micela tiene una estructura porosa, donde la proteína ocupa un 25% del volumen total (Fox & McSweeney, 1998). Actualmente, los puntos de vista de la estructura detallada de la micela de caseína se dividen y no existe un acuerdo sobre su estructura general y propiedades. Algo a tener en cuenta es que el comportamiento de polimerización de las distintas caseínas depende de la posibilidad de interacciones de Ca mediada a través de conjuntos de grupos de fosfoserina, la ganancia en entropía resultante de la agrupación de regiones hidrófobas, las interacciones de regiones hidrófilas con agua, enlaces de hidrógeno, y las diversas interacciones electrostáticas (como puentes de Ca entre los sitios de carga negativa y apareamiento iónico) que son comunes a todas las proteínas (McMahon, D.J. y Oommen, B.S., 1992). Hasta la fecha, el modelo más aceptado está basado en la supuesta existencia de submicelas, debido a que concuerda con la mayoría de las propiedades de las micelas de caseína (Figura 3). Las submicelas de caseína tienen un tamaño aproximado entre 10 y 15 nm. Este modelo propuesto originalmente por Morr en 1967 supone a las submicelas unidas entre sí por el CCP, proporcionando a la micela una estructura porosa. Esto podría explicar por qué al remover el CCP la estructura de la micela se desintegra (lo cual también explicaría en parte el daño micelar ocurrido por tratamientos térmicos como la pasteurización) (Sepúlveda *et al.*, 2012).



**Figura 3.** Modelo (reticulado) de una micela de caseína (Walstra, 1999).

#### 4.6.3.2. Calcio

La comprensión del papel del Ca dentro del proceso de coagulación es de gran dificultad debido a la complejidad de las formas en las que está presente en la leche el Ca. La concentración de Ca total en la leche a pH 6.6 es de aproximadamente 1.2 g/L, de los que aproximadamente un 68% está presente en la micela como CCP (Tabla 13).

**Tabla 13.** Distribución de calcio en la leche con una base aproximada de 1200 mg/L.

Forma de la sal	mg/L
Soluble (32%)	384
Ca <sup>2+</sup>	127.05
Citrato de calcio	210.83
Fosfato de calcio	38.59
Otras	7.53
Coloidal (66%)	816
CCP	639.81
Otras	176.19

Adaptado de Fox & McSweeney, (1998) y de Lucey y Horne, (2009).

En la fase soluble de la leche, se encuentran alrededor de un tercio del Ca, la mitad del fosfato inorgánico, dos tercios del Mg y más del 90% del citrato (Tabla

14) (Gaucheron, 2005). El  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , junto con el  $\text{H}^+$ , juegan un papel especialmente importante en la estabilidad del sistema de caseinato y su comportamiento durante el procesamiento de la leche, especialmente en la coagulación de la leche mediante el cuajo, el calor y etanol (Fox and McSweeney, 1998). No obstante, el  $\text{Ca}^{2+}$  sigue siendo el catión divalente de mayor interés, ya que puede influenciar el entorno que rodea a las micelas de caseína, cargadas negativamente, funcionando como contra-ión, y por lo tanto repeliendo las fuerzas entre ellas estabilizándolas. A su vez, la adición de  $\text{Ca}^{2+}$  permite que durante la etapa de la hidrólisis enzimática, el catión divalente se una en mayor cantidad con el fosfato restante de las micelas, y/o en unión directa con los grupos de ácidos carboxílicos de las  $\alpha$ -caseínas y  $\beta$ -caseínas de las mismas, resultando en una mayor agregación de las micelas. Por lo que el contenido de este catión en la formación de la cuajada estabiliza la red tridimensional entre las micelas de caseína, y controla casi en su totalidad (junto con la grasa) las propiedades de retención de agua (Dalgleish, 1983; Tsioulpas *et al.*, 2007).

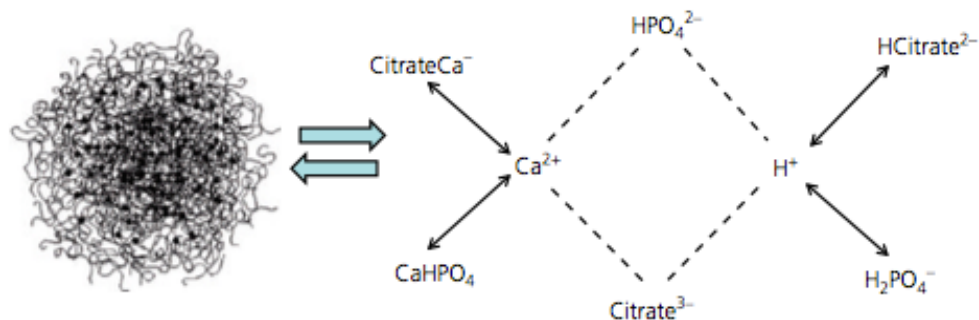
**Tabla 14.** Valores calculados para algunos de los compuestos más importantes de calcio y magnesio en la leche.

	Concentración (mg/L)
<b>Calcio</b>	
[ $\text{Ca}^{2+}$ ]	80.14
[CaCit]	3439.19
[ $\text{CaPO}_4$ ]	81.03
<b>Magnesio</b>	
[ $\text{Mg}^{2+}$ ]	19.44
[MgCit]	428.83
[ $\text{MgPO}_4$ ]	35.78

Adaptado de Neville (2005)

En general, la físicoquímica de las sales de fosfato de Ca es compleja porque estas sales pueden tener muchas composiciones (diferente relación de Ca/P), y existir en diferentes formas (amorfo o cristalizado diferentemente). El Ca micelar no está totalmente asociado al fosfato inorgánico coloidal y una parte de la misma se une directamente a la caseína por medio de los residuos de fosfoserinas

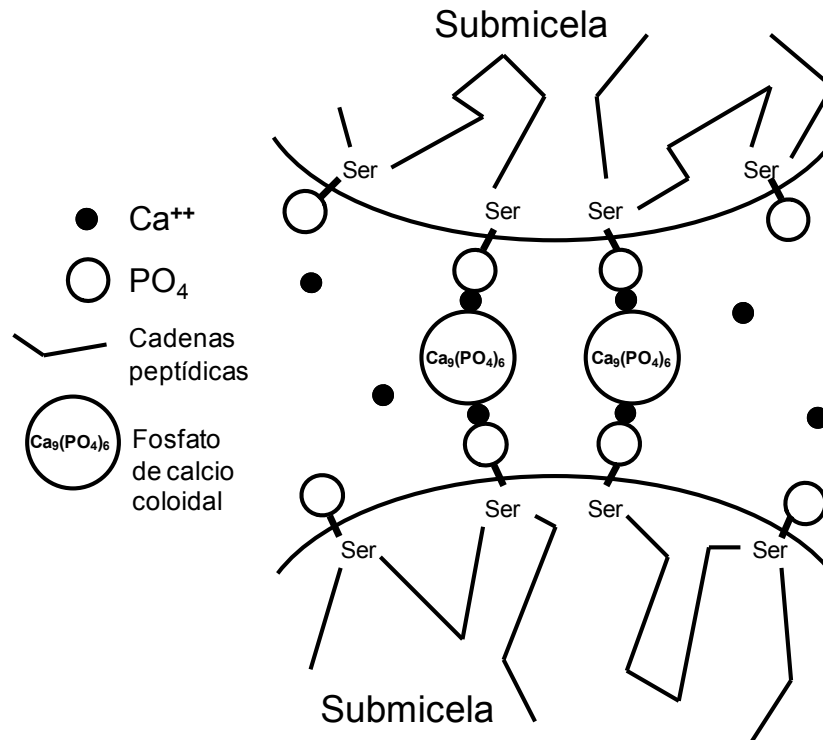
que son fosfatos orgánicos. Por lo tanto, el Ca coloidal en la leche se puede definir como una mezcla de caseinato de Ca (contiene fosfato orgánico) y fosfato de Ca (contiene fosfato inorgánico) (Gaucheron, 2005b). El contenido total del Ca coloidal es de 7 g de Ca por cada 100 g de caseínas secas donde el Ca unido al fósforo es conocido como el CCP (Walstra *et al.*, 2006). Otro aspecto del fosfato de Ca micelar es su intercambiabilidad con la fracción difusible. De hecho, el Ca es más o menos intercambiable entre estas fracciones. Pierre y colaboradores (1983) demostraron que el tiempo necesario para el intercambio de todo el Ca unido directamente a residuos de fosfoserina era menos de un minuto. El Ca ligado al fosfato coloidal es solo parcialmente intercambiable. El Ca unido a la primera zona ácida del fosfato coloidal se intercambia en menos de un minuto, mientras que en la segunda zona ácida sucede muy lentamente (60% en 24 h), y finalmente el Ca unido a la tercera zona ácida no es intercambiable. La Figura 4 resume el equilibrio dinámico de los minerales que existe entre la fase continua y coloidal en la leche (Gaucheron, 2005b; de la Fuente and Juárez, 2015).



**Figura 4.** Equilibrio mineral entre la fase acuosa y coloidal (de la Fuente and Juárez, 2015).

El fosfato de Ca micelar, que se asocia principalmente a las  $\alpha_{s1}$ -,  $\alpha_{s2}$ -, y  $\beta$ -caseínas, es responsable de la estructura y la estabilidad de las micelas de caseína. Es al mismo tiempo, un reticulante y también un agente de neutralización de los residuos de fosfoserina, ya que está cargado positivamente y se une a los

sitios negativos de las moléculas de caseína. En todos los modelos de la estructura de la caseína micelar propuestos, el fosfato de Ca micelar es una parte integral de la micela de caseína (Gaucheron, 2005b). En la Figura 5 se ilustra la función del CCP bajo el modelo de micelas estructuradas por submicelas.



**Figura 5.** Función del fosfato de calcio coloidal en las micelas de caseína.  
 \* Adaptado de Fox and McSweeney (1998).

El  $\text{CaCl}_2$  se suele añadir a la leche durante la fabricación del queso para ayudar a la coagulación, mejorar el proceso de fabricación del queso y/o aumentar el rendimiento con el rango normal de la adición de Ca que abarca 0-0.5 g/L de  $\text{CaCl}_2$  (Gastaldi *et al.*, 1994; Okigbo *et al.*, 1985; Ustunol & Hicks, 1990; Wolfschoon-Pombo, 1997). Todas las adiciones suplementarias de Ca inducen cambios en el equilibrio mineral principalmente debido a que la fase acuosa de la leche está saturada en fosfato de Ca y de citrato de Ca (Holt, 1997; Walstra y

Jenness, 1984), especialmente una asociación de Ca, citrato y fosfato con la fase micelar; es decir, con las micelas de caseína (Philippe et al., 2003).

#### **4.7. Adición de sales en leche y derivados**

La fortificación o enriquecimiento mineral de productos lácteos, está recibiendo una gran cantidad de atención debido su efecto de prevención de enfermedades (de la Fuente and Juárez, 2015). La leche hoy en día, está siendo comercializada como enriquecida o fortificada con varios minerales, principalmente Ca. Leches fortificadas o enriquecidas con Mg, Zn y otros productos lácteos suplementados con Fe, Cu, I y K también se pueden encontrar en el mercado, aunque en una escala más pequeña. Las sales, principalmente en forma de lactatos, fosfatos y cloruro de Ca, se utilizan comúnmente para aumentar el contenido de los minerales deseados. El lactato de Ca, por ejemplo, ha sido utilizado con éxito para la fortificación de Ca en las leches calentadas en experimentos a pequeñas escalas. No obstante, la administración de suplementos de este tipo puede alterar el equilibrio dinámico de las sales de la leche, y modificar la distribución mineral entre las fases solubles y micelares. La adición de sales de fosfato aumenta el contenido de P, que se ha asociado con el fracaso de sales de Ca de permanecer en solución. El enriquecimiento/fortificado de la leche en forma de cloruro de Ca parece conducir a una reorganización de las caseínas micelares, provocando un aumento en la densidad micelar. La leche enriquecida con Mg también se puede encontrar en el mercado en los productos cuyo contenido en este elemento es de alrededor de tres veces de la leche común. En este caso lactato de Mg podría ser utilizado para la administración de suplementos. La investigación y desarrollo destinados a la obtención de productos lácteos con niveles más altos de elementos minerales, deseables desde el punto de vista nutricional, ha producido leches y productos lácteos como el yogur y el queso que han sido fortificados/enriquecidos con minerales y oligoelementos (de la Fuente and Juárez, 2015).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Reactivos y muestras de leche

La leche no pasteurizada de vaca se obtuvo del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 90 (Cuauhtémoc, Chihuahua, México), la cual se mantuvo a 4 °C durante un máximo de 12 horas hasta su uso. El  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  grado alimenticio se adquirió en Insumos para Laboratorio MD S.A. de C.V. (Mazatlán, Sinaloa). El cultivo Mesophilic Chr. Hansen R-704 (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis* y *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*) (Chr. Hansen's Lab. Copenhagen, Denmark) y NaCl grado alimenticio se compraron en la comercial BEYCO (Cuauhtémoc, Chihuahua).

### 5.2. Estrategias de enriquecimiento con magnesio

Se elaboraron 7 quesos Chihuahua enriquecidos con diferentes cantidades de  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Para ello se definieron dos estrategias para el enriquecimiento del queso Chihuahua:

1. Adición directa del  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  a la leche durante el proceso de pasteurización.
2. Adición directa del  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  a la cuajada durante el proceso de salado del queso.

Considerando las recomendaciones de ingesta diaria de Mg y porciones de lácteos y derivados, se planteó una concentración necesaria de 2800 mg de Mg/kg de queso Chihuahua, para que los consumidores cumplan con dichas recomendaciones. Para poder obtener la concentración anteriormente mencionada por medio de la primera estrategia, se empezó por realizar preliminares de añadido de  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en la leche. Con base a ello y al porcentaje de

asociación del Mg con las micelas de caseína descrito en la literatura se establecieron los tratamientos a aplicar por este método. La segunda estrategia se utilizó como método comparativo para denotar similitudes o diferencias contra el enriquecimiento del queso desde su materia prima. Los tratamientos aplicados se observan en la siguiente tabla:

**Tabla 15.** Cantidad de magnesio añadido para el enriquecimiento del queso Chihuahua.

<b>Tratamiento</b>	<b>Cantidad de MgCl<sub>2</sub> • 6H<sub>2</sub>O añadido</b>	<b>Concentración de Mg</b>	<b>Etapas de adición de la sal</b>
P650	5.44 <sup>a</sup>	650 <sup>1</sup>	Pasteurización de la leche
P1300	10.8 <sup>a</sup>	1290.6 <sup>1</sup>	Pasteurización de la leche
P1950	16.4 <sup>a</sup>	1959.8 <sup>1</sup>	Pasteurización de la leche
P2600	22.0 <sup>a</sup>	2629 <sup>1</sup>	Pasteurización de la leche
P3000	25.2 <sup>a</sup>	3011.4 <sup>1</sup>	Pasteurización de la leche
S1300	22.0 <sup>b</sup>	2629 <sup>2</sup>	Salado del queso
SMAX	220.0 <sup>b</sup>	26290 <sup>2</sup>	Salado del queso

<sup>1</sup> mg de Mg/L de leche.

<sup>2</sup> mg de Mg/kg de cuajada.

<sup>a</sup> g de MgCl<sub>2</sub> • 6H<sub>2</sub>O/ L de leche.

<sup>b</sup> g de MgCl<sub>2</sub> • 6H<sub>2</sub>O/kg de cuajada.

Se realizaron tres repeticiones independientes por cada tratamiento, así como también un queso control por cada tratamiento aplicado. La única sal adicionada al queso control fue el NaCl durante la etapa del salado del queso. La elaboración de quesos se inició en el mes de Mayo y finalizó en el mes de Agosto de 2016. El procesar un queso sin la adición de magnesio por cada tratamiento, tuvo como objetivo tener un mayor control sobre las variables de ruido (clima, alimentación de la vaca, etc.) que afectan la composición de la leche y por ende la del queso.

Las variables a estudiar fueron el contenido total de Mg y Ca, la composición de nutrientes (análisis proximal), análisis sensorial, textura, pH, parámetros del



proceso de manufactura de los quesos Chihuahua, rendimiento, y fundido de los quesos.

### **5.3. Selección de la cantidad de magnesio a agregar en la leche o queso Chihuahua**

La concentración deseada a obtener en el queso enriquecido se fijó en 2800 mg de Mg/kg de queso. Esta concentración se obtuvo al considerar primero la recomendación de ingesta diaria de Mg. Para ello se tomó como base la concentración más alta recomendada por el Instituto de Medicina (1997), 420 mg de Mg/día. En segunda instancia, se tomó en cuenta la recomendación de consumo diario recomendado de productos lácteos y derivados. Se consideró la recomendación de 3 porciones de queso al día, en la cual 1 porción equivale a 50 g de queso (USDA, 1992; SENC, 2004). De esta manera al consumir 3 porciones de 50 g de queso, que contenga 2800 mg de Mg/kg de queso, se cumpliría con la recomendación diaria de ingesta de Mg de 420 mg de Mg/día.

### **5.4. Adición de $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ en la leche.**

Se añadieron 6 concentraciones diferentes de  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  en seco a la leche: 2.6169, 5.0235, 10.0447, 15.07315, 25.1096 y 30.1271 g de  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ . Las concentraciones antes mencionadas corresponden a 5211.99, 10005.13, 20005.69, 30021.18, 50009.95 y 60003.14 mg de Mg/L de leche, respectivamente. La sal se adicionó en seco en 50 mL de leche no pasteurizada a 27 °C, y se agitó constantemente durante 5 horas. Previamente se agregó Penicilina V potásico (0.1 mg/mL) (Sigma-Aldrich, Misuri, EE. UU.), para evitar el crecimiento de microorganismos. Posteriormente, se dejó reposar la leche durante 30 min y después se determinó su contenido de Mg por espectroscopia de absorción atómica por flama.

## **5.5. Proceso de elaboración del queso Chihuahua**

Para la manufactura del queso, la leche fresca se pasteurizó a baja temperatura por un largo tiempo ( $63\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; por 30 min: LTLT por sus siglas en inglés (*Long Temperature Long Time*). Posteriormente, se siguió el proceso de elaboración de queso Chihuahua según Villegas (2014), con algunas modificaciones. Se pasteurizaron 10 L de leche y al término del tratamiento térmico, se enfrió la leche a  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$  en un baño de agua. Inmediatamente se adicionaron 0.5 g de cultivo iniciador mesofílico. Cuando la acidez de la leche aumentó  $2^{\circ}\text{D}$  se agregaron 0.5 mL de cuajo (100% Quimosina, CHY-MAX M, Chr. Hansen's Lab. Copenhagen, Denmark) previamente diluido en agua destilada (10% v/v). Se agitó la leche durante 10 minutos, y a continuación se dejó reposar y coagular la leche hasta que el gel adquirió la firmeza suficiente para realizar un buen corte (1 Pa). Para cortar la cuajada se utilizaron 2 liras de acero inoxidable de 1 cm de corte. Primero se cortó con la lira vertical y posteriormente con la lira horizontal, obteniendo cubos de cuajadas de  $1\text{ cm}^3$ , aproximadamente. La cuajada se coció a una temperatura de  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 30 min con agitación constante hasta el desuerado. El Cheddarizado inició cuando la cuajada tuvo una acidez de 40–42  $^{\circ}\text{D}$ , a una temperatura de  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La cuajada se cortó en cubos aproximadamente de  $2.54\text{ cm}^3$  y se saló con 20 g de NaCl, la cual se dejó reposar por 10 min. Por último, se prensó en sus moldes por 16 hrs. Después del prensado, los quesos se orearon por un día y se empacaron al vacío para dejarlos madurar por 7 días a temperatura de refrigeración ( $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

## **5.6. Determinación de magnesio y calcio total**

Para la determinación de Mg y Ca total se utilizó la técnica de espectroscopía de absorción atómica por flama (LPFC-137 1985). Se agregaron 2 mL o 2 g de la muestra de leche o queso finamente rallado respectivamente, en crisoles a peso constante. Posteriormente, se calentó la muestra en una placa de calentamiento hasta que se secó. Ya deshidratado se introdujo en una mufla a

500°C por 16 horas. Transcurrido este tiempo, la muestra se dejó enfriar y se le vertió a cada crisol 2 mL de ácido nítrico. Se situó el crisol nuevamente en la placa de calentamiento hasta la completa evaporación del ácido. Al término de la evaporación del ácido, se colocó el crisol de nuevo en la mufla a 375 °C por 1 h. Después se dejó enfriar y se añadieron 3 mL de ácido clorhídrico. Estas solución se aforó a 50 o 100 mL. Luego en matraces aforados de 50 o 100 mL, se mezclaron diferentes cantidades de la solución madre (Tabla 16) con 2.5 mL de óxido de lantano (5%) y se aforaron nuevamente. Estas disoluciones acuosas fueron analizadas mediante un espectrómetro de absorción atómica (Perkin Elmer, AAnalyst 700, USA) y flama de acetileno-aire.

**Tabla 16.** Disoluciones utilizadas para la determinación de magnesio y calcio total.

	Concentración de Mg adicionado (ppm)	Volúmen de matraz de solución madre (mL)	Cantidad de solución madre (mL)	Volumen de matraz de dilución (mL)
Adición de Mg en la leche	5211.99	100	0.2	100
	10005.13	100	0.15	100
	20005.69	100	0.05	100
	30021.18	100	0.05	100
	50009.95	100	0.05	100
	60003.14	100	0.05	100
Elaboración de quesos	650	50	0.45	50
	1290.6	50	0.3	50
	1959.8	50	0.25	50
	2629	50	0.2	50
	3011.4	50	0.15	50
	2629*	50	0.25	50
	26290*	50	0.05	50

\* En la elaboración de quesos las concentraciones marcadas con un asterisco, se adicionaron durante el salado del queso. Las restantes se adicionaron durante la etapa de pasteurización de la leche.

## 5.7. Análisis proximal del queso Chihuahua y leche

El análisis proximal se llevó a cabo en leche fresca y producto terminado. Se llevaron a cabo los siguientes análisis:

**Determinación del contenido de humedad:** El procedimiento empleado fue el de la norma oficial mexicana NOM-116-SSA1-1994. A charolas secas a peso constante se les agregó arena seca hasta completar 3 g. Posteriormente, se les añadió 2 mL de leche o 2 g de queso finamente rallado. Luego, la charola ya con la muestra se calentó en una estufa Shel Lab modelo 1370GM-2 (Sheblon Manufacturing, Inc., Oregón, EE. UU.) a una temperatura de 105 °C por un lapso de 2 h. A continuación, esta se dejó enfriar en un desecador y se pesó. La charola fue devuelta al horno durante otra media hora y de nuevo se enfrió y se volvió a pesar. El proceso se repitió hasta que la muestra alcanzó peso constante. El contenido de humedad en la muestra se calculó con la ecuación:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(P - P1)}{P2} \times 100$$

En dónde:

P = Peso del recipiente con la muestra húmeda (g).

P1 = Peso del recipiente con la muestra seca (g).

P2 = Peso de la muestra(g).

**Determinación del contenido de cenizas:** Se adicionaron 2 mL de leche o 2 g de queso rallado finamente en un crisol de porcelana a peso constante. El material fue calentado en la vitrina de gases para carbonizar la materia orgánica hasta que el humo causado por la carbonización se dejó de apreciar. A continuación, el crisol con la muestra se transfirió a una mufla a 550 °C durante 2 h. Se enfrió en un desecador y se pesó inmediatamente (AOAC Official Method 945.46). El contenido de cenizas se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{(P - P1)}{(P2 - P3)} \times 100$$

En dónde:

P = Peso del crisol con la muestra calcinada (g).

P1 = Peso del crisol (g).

P2 = Peso del crisol con la muestra (g).

P3 = Peso del crisol (g)

**Determinación del contenido proteínas:** Se utilizó el método Kjeldahl para la determinación del contenido de proteína del queso descrito por la AOAC (Official Method 991.22). A un tubo Kjeldahl con la muestra (1 mL de leche o 0.2 g de queso finamente rallado), se añadieron 0.6 g de selenio (catalizador). Se introdujo la muestra en tubos de digestión y se le agregaron 5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. El tubo se fijó en la unidad de la digestión del aparato Kjeldahl a 450 °C durante 1 hora. Luego de dejarse enfriar, se adicionaron 15 mL de agua destilada y se pasó al destilador. Se destiló por 5 min donde se adicionó NaOH (50%) hasta que dejó de reaccionar. Un tubo Falcón con 10 mL de ácido bórico (4%) y una gota de rojo de metilo se situó en la salida de vapores del destilador, en el cual se vertió el digesto destilado hasta que la solución viró a verde. Se pasó la solución a un matraz Erlenmeyer y se tituló con HCl (0.1 N). El contenido de proteína se calculó a partir de la siguiente relación:

$$\text{Proteína (\%)} = \left( \frac{\text{Titulado} \times \text{Normalidad del ácido} \times 1.4007}{\text{Peso de la muestra}} \right) \quad (6.38)$$

Normalidad del ácido (HCl) = 0.1 N

Peso de la muestra = 1 mL

Factor de conversión de proteína para leche = 6.38

**Determinación del contenido de lípidos de la leche:** Se realizó por el método de Gerber. A dos butirómetros se les agregó 10 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> p/leche (Ácido BABCOCK), 11 mL de muestra de leche, y 1 mL de alcohol isoamílico. Se agitaron hasta que la solución se tornó negra. Los butirómetros se colocaron en un baño María a 60 °C por 5 min y luego se centrifugaron por 5 min. Al término del

centrifugado nuevamente se colocaron/introdujeron en baño María a 60 °C por 5 min. Se tomó lectura (AOAC Official Method 2000.18).

**Determinación de lípidos del queso:** Se empleó el método de Rose–Gotheb Mojonnier (Pinto *et al.*, 1996). En un matraz Mojonnier a peso constante, se colocó 1 g de queso finamente rallado. A la muestra se le agregó 1 mL de amoníaco, 10 mL de alcohol etílico absoluto, 8 gotas de fenoftaleína, 10 mL de agua destilada y 25 mL de éter etílico. Se tapó el matraz y se agitó vigorosamente (un mínimo de 30 s). Posteriormente se adicionaron 25 mL de éter de petróleo, se tapó y se agitó fuertemente. Se destapó y se dejó reposar por 5 min. La fase cristalina que contiene la grasa se vació en una cápsula previamente pesada y a peso constante. Después se añadieron 5 mL de alcohol etílico absoluto y 25 mL éter etílico, se tapó el matraz y nuevamente se agitó. Luego se vertieron 25 mL de éter de petróleo, se tapó el matraz y se repitió el proceso de agitado. Una vez más se destapó el matraz y se dejó reposar durante 5 min para posteriormente vaciar la fase cristalina sobre la misma cápsula que se utilizó la primera vez que se vació el matraz. La cápsula se dejó en la campana con el extractor encendido para que este ayudara a que el éter etílico se evaporara rápidamente. Para evaporar completamente el éter etílico de la cápsula y solo quedase la grasa en ella, se calentó en una placa de calentamiento a 200 °C por pequeños intervalos de tiempo (10 s), hasta que el olor característico del éter etílico ya no se pudiese identificar con el olfato. Se dejó enfriar la cápsula y se pesó. El contenido de grasa se obtuvo por medio de la siguiente fórmula:

$$Grasa (\%) = \frac{(P - P1)}{(P2 - P3)} \times 100$$

En dónde:

P = Peso del matraz mojonnier con la muestra (g).

P1 = Peso del matraz mojonnier (g).

P2 = Peso de la cápsula con la grasa(g).

P3 = Peso de la cápsula (g)

**Determinación del contenido de carbohidratos:** Se determinó por diferencia, restándole al 100% la suma del porcentaje de humedad, cenizas, proteínas y grasas. El restante es el valor de contenido de carbohidratos de la muestra.

### **5.8. Determinación de la textura del queso**

Se evaluó el perfil de textura de los quesos Chihuahua a los 7 días de maduración, de acuerdo a la metodología descrita por Trancoso-Reyes y colaboradores (2014) con algunas modificaciones. Las muestras de queso se cortaron en cubos de 1 cm<sup>3</sup> los cuales se dejaron a temperatura de medio ambiente hasta alcanzar los 25 °C. El análisis se efectuó utilizando un texturómetro TA.XTplus (Stable Micro Systems Ltd., Londres, Reino Unido), con una fuerza de compresión de 0.05 N y una sonda de compresión de 75 mm de diámetro (P/75). Cada cubo de queso se comprimió hasta un 75% de su altura original dos veces, utilizando una velocidad de 0.05 cm/s y un retraso de 5 s entre la segunda compresión y la primera. Se calculó la firmeza a través del software Texture Exponent Lite versión 4.0.130.0 (Stable Micro Systems Ltd; 2007).

### **5.9. Análisis Sensorial**

El análisis sensorial se llevó a cabo mediante pruebas triangulares. Los quesos elaborados con las diferentes formulaciones se evaluaron sensorialmente mediante pruebas triangulares. Cada formulación sometida al análisis sensorial se evaluó siempre con su respectivo queso control.

Se utilizaron muestras de 1–2 cm<sup>3</sup> para las pruebas. Las pruebas discriminativas se diseñaron para evaluar sabor, textura y olor, además que en los comentarios se pidió una evaluación pequeña descriptiva y de aceptación con una escala hedónica. Los análisis se llevaron a cabo por un panel de jueces no entrenados. El nivel de significancia se midió por medio de la tabla de Roessler y

colaboradores (1948) (Apéndice C). En total se realizaron 75 encuestas por tratamiento.

### **5.10. Determinación de pH**

La medición del pH se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Pinto y colaboradores (1996). Se mezclaron 10 g de muestra de queso rallado finamente y 50 mL de agua destilada en un matraz Erlenmeyer y se agitó vigorosamente por un mínimo de 30 segundos. Después con una espátula se quitó el excedente de grasa y posteriormente se tomó la lectura con un potenciómetro HI 422I (Hanna Instruments, Rhode Island, EUA) sin dejar de agitar.

### **5.11. Determinación de acidez**

Se utilizó la metodología de Pinto y colaboradores (1996) con algunas modificaciones. Se tomaron 10 mL de muestra (leche/suero) y se le adicionaron 8 gotas de indicador (fenoftaleína). Posteriormente se tituló con NaOH 0.1N. La acidez se midió por medio de la escala de °D siguiendo la siguiente ecuación:

$$^{\circ}\text{D} = \frac{(GA \times 90)}{(100)}$$

En dónde:

°D= Grado dornic. Donde 1°D equivale a 1 mg de ácido láctico en 10 mL de leche.

GA = Grado de acidez.

$$GA (\%) = \frac{(V \times N)}{(\text{Vol. muestra})} \times 100$$

V = Volúmen de la solución de NaOH gastado (mL).

N = Normalidad de la solución NaOH.



### 5.12. Determinación de rendimiento de queso

Se registró el peso de la leche bronca y del queso. Los quesos se pesaron después del prensado y antes de empacarlos al vacío. El rendimiento (R) se calculó por medio de la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\textit{peso queso}}{\textit{peso leche no pasteurizada}} \times 100$$

### 5.13. Fundido de queso

Se tomó una muestra de queso de 2 x 2 x 1 cm. Se utilizaron 2 hojas de papel aluminio de 10 cm<sup>2</sup> para cubrir la muestra, una para la parte inferior y otra para la parte superior simulando un emparedado. Ya cubierta se calentó la muestra en una placa de calentamiento a una temperatura de 190±5 °C por 2 min, volteando la muestra cada 30 s. Al término de los 2 min se dejó enfriar por 4 s. Se posicionó la muestra derretida entre las dos hojas de aluminio al inicio de una cinta métrica. Luego tomando una hoja de aluminio con cada mano, se estiró una de las hojas mientras que la otra permaneció estática. La hoja se estiró hasta que la hebra se rompió. Se anotaron los cm que la hebra alcanzó a estirar sin romperse.

### 5.14. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante un ANOVA de una sola vía, utilizando el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA). También se realizó una comparación múltiple de medias Tukey, con un nivel de confianza del 95 %. Todos los experimentos fueron llevados a cabo por triplicado.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Composición proximal de la leche

En la Tabla 17 se puede observar la composición de la leche, y su variación a inicio del proyecto y al término de este. Estos cambios en su composición, son ocasionados por factores como la alimentación del ganado, cambio climático, estación del año, etc., como se mencionó anteriormente. De igual manera los datos obtenidos se encuentran dentro de las variaciones consideradas como aceptadas por la literatura (Wasltra *et al.*, 2006; Guinee *et al.*, 2007).

Conocer la composición de la leche es importante, ya que éste es un factor que afecta directamente la composición de los quesos, por lo que de cierta manera, podría permitir llevar un control de calidad.

**Tabla 17.** Composición de la leche al inicio y final del estudio.

	Mayo 2016	Agosto 2016
<b>Proximales (%)</b>		
Humedad	87.71±0.02	88.21±0.07
Proteína	2.7±0.94	3.16±0.14
Grasa	4	3.5
Carbohidratos	4.93	4.42
Ceniza	0.66 ± 0.01	0.71
pH	6.71	6.91
<b>Ca y Mg total (ppm)</b>		
Ca	1157±0.46	1310.63±0.38
Mg	108.41±0.57	100.5±0.23

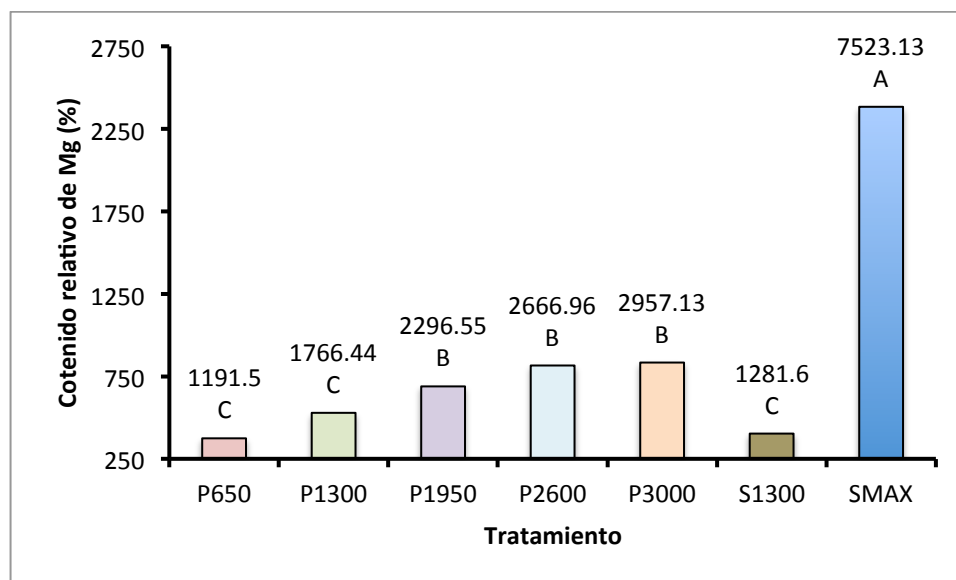
## 6.2. Influencia de la adición de $MgCl_2$ sobre el enriquecimiento del queso Chihuahua

Los quesos control tuvieron en promedio un contenido total de Mg de  $329.48 \pm 22.67$  mg de Mg/kg de queso y  $8366.55 \pm 276.83$  mg de Ca/kg de queso, de contenido de Ca total (ver Apéndice A). Se observó que la adición de las diferentes concentraciones de Mg por medio de las dos estrategias, causaron un enriquecimiento en el contenido total de Mg de los quesos Chihuahua (Figura 6). Por consiguiente, entre mayor cantidad de Mg se adicionó, mayor fue el contenido de Mg total que presentaron los quesos, comportándose así el  $MgCl_2$ , de manera muy similar al  $CaCl_2$ . Diversos estudios han demostrado que la adición del  $CaCl_2$  ya sea en la leche destinada para la elaboración de queso, o durante el salado del queso, ocasiona un aumento en el contenido total de Ca en los quesos (Gras *et al.*, 2013, Flüeler & Puhan, 1978; van Hooydonk and van den Berg, 1988; Philippe *et al.*, 2003).

La cantidad de Mg retenido en el queso puede estar justificado por el hecho de éste se asoció directamente con las micelas, o por medio de la fase continua que queda atrapada mecánicamente cuando la red tridimensional de las proteínas se forma (Philippe *et al.*, 2003; Lawrence *et al.*, 1987). Philippe y colaboradores (2005) reportaron que al agregar 194.44 mg de Mg/ kg de leche, se asoció un 25% del Mg a las micelas de caseína. No obstante, este porcentaje pudo variar en este proyecto, ya que en el trabajo de dichos autores, el  $MgCl_2$  se adicionó en disolución acuosa, en leche ultrafiltrada, la cual previamente ya había sido mezclado con polvo de fosfocaseinato (micelas de caseína).

Al adicionar el  $MgCl_2$  en la leche, se afecta el equilibrio dinámico de las sales, ya que se modifica la distribución del Mg entre la fase continua y la fase coloidal. Es decir, al adicionar el  $MgCl_2$  se disocia completamente en la fase continua, donde el  $Mg^{2+}$  desplaza al Ca unido a citratos y fosfatos (debido a que la fase continua de la leche se encuentra saturada en fosfatos y citratos de Ca) y se forman nuevas sales como  $MgCit^-$ ,  $Mg_3(PO_4)_2$  y  $MgHPO_4$ , que en consecuencia incrementa el Ca iónico, el cual puede interactuar con el citrato y el fosfato

inorgánico generando más sales, en las que el  $Mg^{2+}$  desplaza al Ca. A su vez, el  $Mg^{2+}$  puede interactuar también de forma directa con el citrato y el fosfato inorgánico formando los mismos productos finales. Al saturarse la fase continua con las sales de Mg (p.e.  $Mg^{2+}$ ,  $MgCit^-$ ,  $Mg_3(PO_4)_2$  y  $MgHPO_4$ ), el equilibrio se desplaza hacia la fase micelar y es ahí cuando estas sales se empiezan a asociar con las micelas (Philippe, 2005; Gaucheron, 2005; Gaucheron 2011). Se cree que el Mg se asocia con las micelas de caseínas por medio de enlaces electrostáticos con los átomos de oxígeno de los residuos fosfoseril, aspártico y glutámico (Byler & Farrell, 1989; Gaucheron *et al.*, 1997). Las interacciones entre los cationes y los residuos de tirosina, histidina, fenilalanina y triptófano, también podrían estar implicadas (Dougherty, 1996). Además, también es posible que las micelas ocluyan el agua enriquecida con Mg, ya sea dentro de su misma estructura (63% de su estructura es agua) o atrapada mecánicamente al formarse la matriz proteica que da origen al queso (Walstra *et al.*, 2016).



**Figura 6.** Contenido total relativo de magnesio en los quesos Chihuahua (bh).

\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento (n = 3) respecto su control. Barras con diferente letra, indican diferencia significativa (Tukey, P < 0.05). Valores sobre las letras indican el contenido de Mg total expresados en mg de Mg/kg de queso. La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

En el caso de enriquecer el queso a través de la adición directa de la sal a la

cuajada, cuando la sal seca se distribuye sobre la superficie de los gránulos de cuajada, el  $MgCl_2$  se disuelve en la humedad superficial y se difunde lentamente hacia dentro una distancia corta (Guinee and Fox, 1993).

El tratamiento SMAX exhibió el queso más enriquecido con Mg, donde se cree que los 7523.13 mg de Mg/kg de queso es la máxima concentración de Mg que el queso Chihuahua puede retener por medio de la segunda estrategia.

El queso con mayor contenido de Mg obtenido por la primera estrategia, se obtuvo con el tratamiento P3000. No obstante, no hubo diferencias significativas entre éste y los tratamientos P2600 y P1950.

Por lo tanto, se sugiere que el límite de máxima adición siguiendo el primer método, se obtiene cuando se adicionan una concentración dentro del rango de los 3011.4-3500 mg de Mg/L de leche (25.2-29.29 g de  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ /L de leche). Este hecho se corroboró durante los experimentos preliminares, en los que la adición de cantidades iguales o mayores a 3500 mg de Mg/L impidieron la coagulación de la leche.

El tratamiento S1300 no presentó diferencias significativas respecto a P650 y P1300; es decir, al adicionar una u otra cantidad de Mg se obtiene el mismo contenido de este mineral además de que el método aplicado no reflejó efecto alguno.

Los datos mostraron que fue posible enriquecer el queso con Mg con la cantidad establecida inicialmente (2800 mg de Mg/kg de queso), ya sea a través de la adición en la leche o en la cuajada. En adición, los resultados presentados en este trabajo demuestran que fue posible incrementar el contenido de Mg en queso hasta un 2283%.

En la Tabla 15, se describen las cantidades de  $MgCl_2$  que se adicionaron, así como la concentración de Mg en leche y cuajada. Para el caso de los quesos elaborados a partir de leche enriquecida con Mg, se observó que retuvieron en

promedio el 10.66% del Mg añadido. Este valor se obtuvo de la relación entre la concentración de Mg añadido y aquella presente cuantificada en tratamiento; tomando en cuenta que el contenido promedio de Mg en los quesos control fue de 329.48 mg de Mg/kg de queso. En el caso de los quesos enriquecidos con Mg en la cuajada, se obtuvieron valores de retención del Mg añadido de 36.21 y 27.4% para los tratamientos S1300 y SMAX, respectivamente. Por lo tanto, se retiene más Mg agregándolo en la etapa del salado que durante la pasteurización de la leche.

Los porcentajes de retención de Mg obtenidos en el segundo método, son menores a los obtenidos por Grummer and Schoenfuss (2011), quienes elaboraron quesos cheddar reducidos en NaCl, donde a uno de sus tratamientos se le agregó una mezcla de NaCl + MgCl<sub>2</sub> • 6H<sub>2</sub>O durante la etapa del salado del queso. La mezcla de NaCl + MgCl<sub>2</sub> • 6H<sub>2</sub>O añadida a la cuajada, contuvo aproximadamente 4600 mg de Mg/kg de cuajada, suponiendo que obtuvieron un rendimiento del 10% (el dato no reportado en su trabajo), el cual es el cotidianamente obtenido durante la elaboración de quesos (Wolfschoon-Pombo, 1997). De manera que tomando en cuenta la cantidad adicionada y el resultado reportado por ambos autores sobre el contenido total de Mg obtenido en el queso con la mezcla de NaCl + MgCl<sub>2</sub> • 6H<sub>2</sub>O, se conservó alrededor del 40% hasta el producto terminado, siendo más que el obtenido en el presente trabajo.

A pesar de los porcentajes de retención de Mg, se alcanzó un aumento significativo en el contenido de Mg total en el producto terminado, siguiendo cualquiera de las dos estrategias. Similarmente, diversos estudios han reportado aumentos significativos en el contenido de Mg de sus quesos enriquecidos con MgCl<sub>2</sub> o mezclas de NaCl + MgCl<sub>2</sub> • 6H<sub>2</sub>O, durante la etapa del salado de queso (McMahon *et al.*, 2014; Grummer and Schoenfuss, 2011; Fitzgerald and Buckley, 1985).

Por otra parte, la adición de Mg tuvo un efecto sobre la retención de Ca. Relacionando la cantidad de Ca que se perdió por el enriquecimiento con Mg (Figura 6 y 7), se observa que a menor concentración de Mg añadido, hay mayor

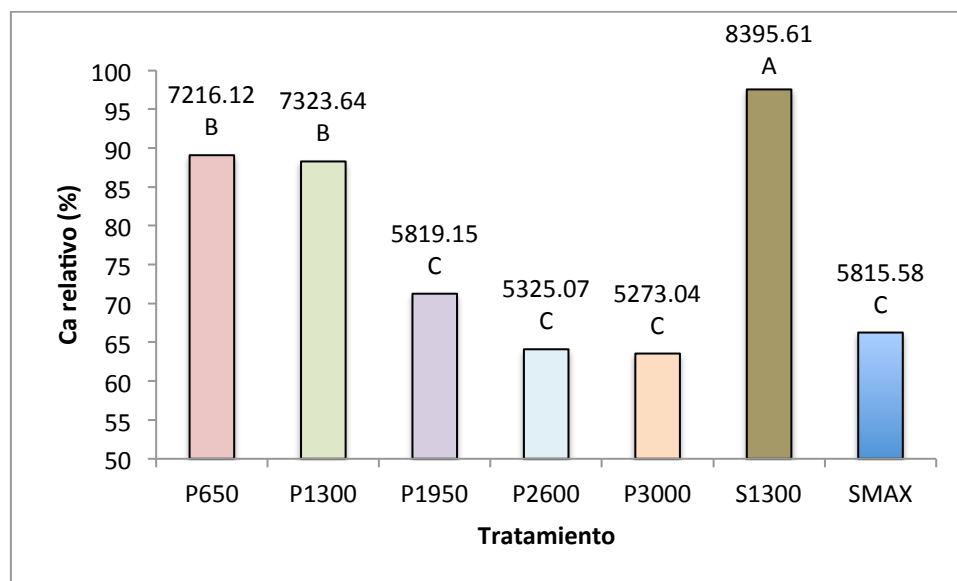
contenido de Ca en el queso, por ambas estrategias de enriquecimiento. Dicho de otra manera, cuando aumenta la cantidad de Mg en leche y/o cuajada, el Ca disminuye.

Esto puede ser justificado por el hecho de que como se mencionó anteriormente, al añadir  $MgCl_2$  durante la pasteurización de la leche, ocurre un cambio en el equilibrio dinámico de los minerales, debido a la completa disociación de la sal, provocando así la saturación de la fase continua con  $Mg^{2+}$  y sales de Mg, inclinando el equilibrio hacia las micelas. Esta saturación provoca que el  $Mg^{2+}$  desplace al Ca unido a los fosfatos y citratos, y que menor cantidad de sales de Ca se asocien a las micelas. En consecuencia, se retiene menor cantidad de Ca que en el control.

Además, se sabe que el Mg es un antagonista del Ca por naturaleza, por lo que los dos minerales tienden a tener afinidad por los mismos sitios de interacción. Adicionalmente, el radio del Mg hidratado es 400 veces mayor que su radio deshidratado. Esta diferencia de tamaño, entre su radio hidratado y deshidratado es mucho más prominente que en el caso del Ca, donde su diferencia entre su radio hidratado y deshidratado es de 25 veces. Por lo tanto, se plantea que al ocupar el Mg más espacio, fomenta su prioridad de ocupar los lugares por los que compite con el Ca. Es por ello que entre mayor sea la cantidad de Mg adicionado, se pierde una mayor cantidad de Ca en el suero (Jahnen-Dechent and Ketteler, 2012).

El tratamiento S1300 fue el que presentó el mayor contenido de Ca total, seguido de los tratamientos P650 y P1300, los cuales no presentan diferencia significativa entre ellos. Un punto interesante es que los tratamientos S1300, P650 y P1950 no presentaron diferencia significativa en el contenido de Mg total; sin embargo en el del Ca sí, siendo la estrategia de la adición directa de Mg sobre la cuajada la que menos perdió Ca. Por lo que es muy posible que dependiendo del método de enriquecimiento empleado, el Mg afecte en diferentes magnitudes a la pérdida del Ca, ya que es más sencillo desplazar al Ca debido al “fácil” intercambio que existe de minerales por el equilibrio dinámico, que cuando este,

ya se encuentra dentro de la red tridimensional de las caseínas que posteriormente formaron el queso. Además cuando se agrega el  $MgCl_2$  durante el salado, este solo se absorbe en la parte superficial de la cuajada. Por ello, el  $Mg^{2+}$  logra tener un área de contacto muy limitado, desplazando en menor proporción al Ca. Pese a ello, el tratamiento SMAX parece indicarnos que la alta concentración de Mg adicionado, permitió desplazar el Ca en gran manera.



**Figura 7.** Contenido de calcio total relativo de los quesos Chihuahua (bh).

\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento (n = 3) respecto su control. Barras con diferentes letras, indican diferencia significativa (Tukey, P < 0.05). Valores sobre las letras indican el contenido de Ca total expresados en mg de Ca/kg de queso. La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

Por último, se encuentran los tratamientos restantes quedando con una concentración de Ca total alrededor de los 5500 mg de Ca/kg de queso.

Al analizar los datos de contenido de Ca total, se sospecha que lo máximo que se puede perder de Ca por el enriquecimiento de los quesos con  $MgCl_2$ , es alrededor de un 36.45%. Esto se cree debido a que los tratamientos P1950, P2600, P3000 y SMAX, presentaron cierto límite en la pérdida de Ca, al no existir diferencia significativa en su contenido de Ca total, a pesar de las diferentes adiciones de Mg que se les aplicó. Este límite en la pérdida del Ca se sugiere que



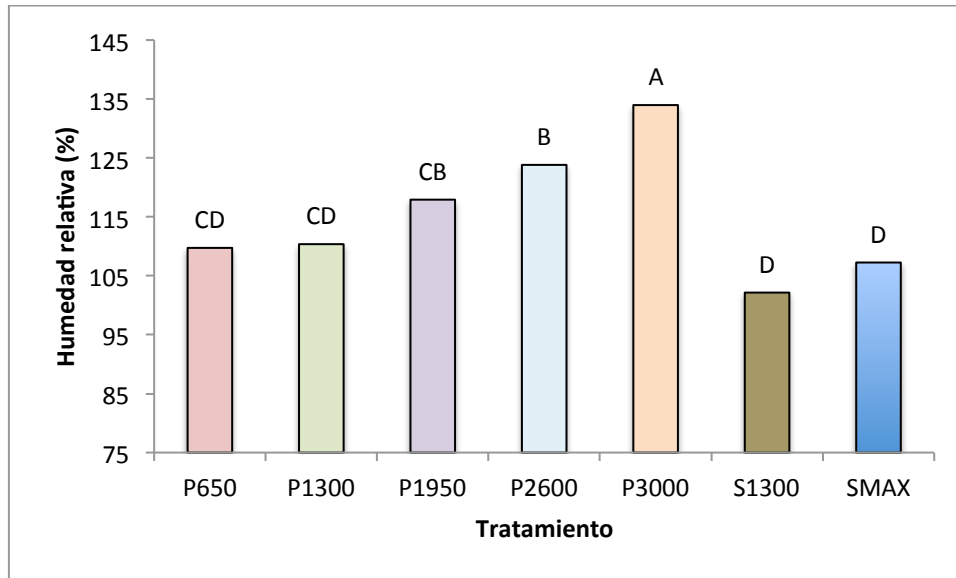
puede atribuirse al hecho de que todo el Ca intercambiable se desplazó, quedando en general solo el Ca micelar de lento intercambio y no intercambiable.

Existen otros estudios donde de igual manera, ocurre una disminución en el contenido de Ca total después de la adición de  $MgCl_2$  durante el salado del queso (Fitzgerald and Buckley, 1985; McMahon *et al.*, 2014). Grummer and Schoenfuss (2011) reportó una disminución de un 12.8% en el contenido de Ca total de su queso Cheddar enriquecido con una mezcla de  $NaCl + MgCl_2 \cdot 6H_2O$  con respecto a su control

### **6.3. Influencia de la adición de $MgCl_2$ sobre la composición de los quesos Chihuahua**

El pH, así como el contenido de humedad, proteína y grasa de los quesos enriquecidos con Mg (en leche y cuajada), estuvieron dentro de los rangos establecidos por la NMX-F-738-COFOCALEC-2011, los cuales han sido fijados en 45% de humedad como máximo, 23% de proteínas como mínimo, 28% de grasa como mínimo, y un rango de pH de 5.0-5.5 (ver Apéndice A).

En general, el contenido de humedad aumentó conforme se incrementó la cantidad de Mg agregado, tanto en leche como en la cuajada. Aunque solo a través del primer método, el aumento de la humedad fue significativa (Figura 8). El tratamiento P3000 presentó el mayor contenido de humedad, con un contenido relativo de 134%, respecto al control.



**Figura 8.** Humedad relativa de los quesos Chihuahua.

\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento (n = 3) respecto su control. Barras con diferentes letra, indican diferencia significativa (Tukey, P < 0.05). La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

El incremento en el contenido de humedad puede estar relacionado con el incremento en la hidratación de las proteínas, ya que el Mg liga el agua con más fuerza y en mayor cantidad que el Ca (Jahnen-Dechent and Ketteler, 2012; Katz *et al.*, 1996). Por lo que el MgCl<sub>2</sub> adicionado, pudo haber favorecido, que la sinéresis ocurriera en menor proporción, provocando un mayor contenido de agua en el producto terminado. Creighton (1984) reportó que el ion Mg<sup>2+</sup> incrementó en mayor grado la solubilidad de las proteínas que el Na<sup>+</sup>, y esto puede resultar en mayor contenido de humedad, y menor sinéresis.

Los quesos enriquecidos con Mg durante la pasteurización mostraron mayor contenido de humedad que aquellos enriquecidos en la cuajada, esto debido a que la sinéresis se inhibe durante más tiempo (durante el cortado y la cocción por ejemplo), que cuando se adiciona en la cuajada. Arakawa y Timasheff (1984) publicaron que el aumento en la solubilidad de las proteínas provocado por el MgCl<sub>2</sub>, se ve fuertemente influenciado por el pH, mientras que este efecto no se observó con el NaCl, indicando que la hidratación se relaciona por el hecho de que el pH promueve una interacción preferencial del MgCl<sub>2</sub> con las proteínas. En

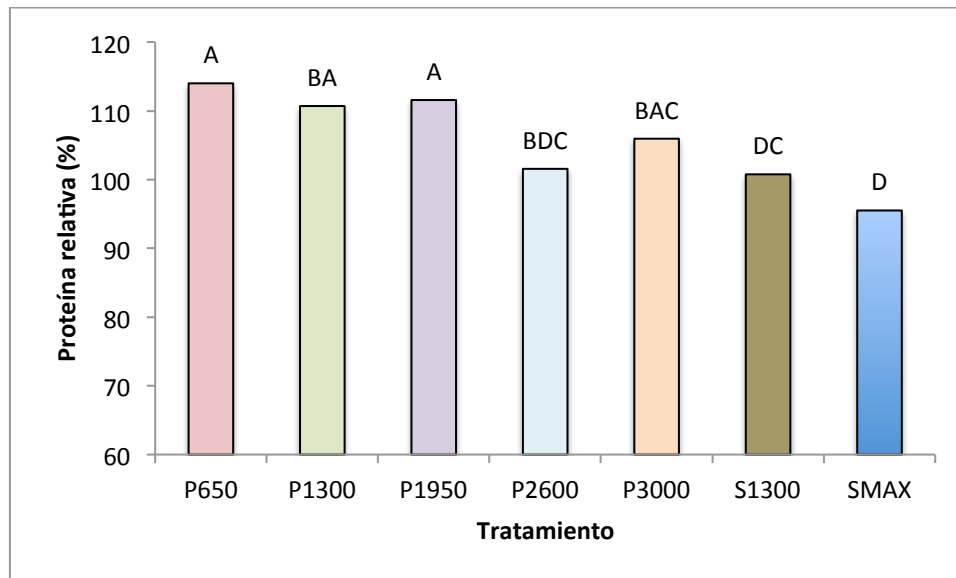
concordancia con los resultados expuestos en este trabajo, otros estudios reportaron que aquellos quesos Cheddar salados con  $MgCl_2$  solamente, o mezclas de  $NaCl + MgCl_2$ , presentaron mayor humedad que sus muestras control (salados únicamente con  $NaCl$ ) (Fitzgerald and Buckley, 1985; Grummer *et al.*, 2011; Grummer and Schoenfuss, 2011).

Correspondientemente, aquellos quesos que mostraron menor humedad, contuvieron una cantidad mayor de grasa y proteínas, debido a una dilución acuosa menor. Para descartar el ruido ocasionado por el contenido de humedad, se analizó el contenido de grasa y proteína en base seca y así observar únicamente el efecto de la adición del  $MgCl_2$  sobre estos nutrientes.

En la Figura 9 se muestra el contenido relativo de proteínas en los quesos enriquecidos con Mg. Los quesos enriquecidos durante la pasteurización presentaron un mayor contenido de proteínas que aquellos a los que se les adicionó el Mg a la cuajada; sin embargo, estos quesos enriquecidos en la etapa del salado, no mostraron diferencia significativa del tratamiento P2600.

El queso con la mayor cantidad de Mg presentó el porcentaje relativo más elevado de proteínas.

Los tratamientos enriquecidos durante el pasteurizado de la leche (a excepción de P2600), pudieron retener más cantidad de proteína, obteniendo hasta un 114% más alto (P650) en comparación a su control. El hecho de que estos tratamientos contuvieran más proteína, posiblemente se justifica con el factor de que el Mg agregado en la leche pudo interactuar en mayor grado con las proteínas séricas, al ligar una cantidad superior de agua y suero que las contiene.



**Figura 9.** Proteína relativa de los quesos Chihuahua (bs).

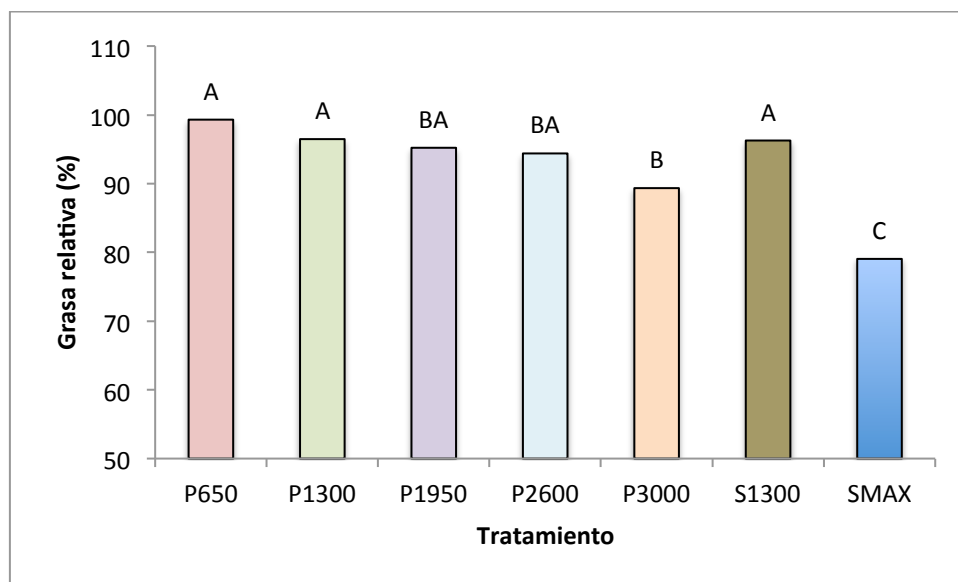
\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento (n = 3) respecto su control. Barras con diferentes letra, indican diferencia significativa (Tukey, P < 0.05). La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

Al contrario de lo que sucede con las proteínas, el incremento en la cantidad de Mg adicionado provocó una disminución en el contenido de grasa (Figura 10). La adición de las concentraciones más grandes de Mg provocaron la mayor pérdida de grasa. La muestra P3000 perdió un 10.66%, y SMAX un 20.95%. El tratamiento S1300 no presentó diferencias significativas de los tratamientos enriquecidos durante el pasteurizado, con excepción de P3000, de manera que se requiere agregar una concentración alta de  $MgCl_2$  para que se reflejen las pérdidas en grasa. Esto nos sugiere que la estrategia empleada no es el principal factor de la pérdida de grasa, sino el grado de enriquecimiento de Mg.

La disminución en el contenido de grasa se asocia a diversas causas (cocción, cheddarizado, etc.), siendo el prensado el que ocasiona mayor pérdida en su contenido. En general se ha reportado que normalmente se pierde un 8.5% de la grasa en el suero (Fox *et al.*, 2000). No obstante, se cree que otros factores, como la modificación de la matriz proteica por el incremento humedad en los quesos (Lawrence *et al.*, 1987), así como la suposición de una factible alteración

de la microestructura del queso Chihuahua producido por el enriquecimiento con  $MgCl_2$ , impulsaron las pérdidas de grasa. Esta última suposición se hizo en base al trabajo elaborado por Ong y colaboradores (2013), quienes evaluaron la influencia de la adición de diferentes concentraciones de Ca (0-600 mg/L) en la microestructura del queso Cheddar, y reportaron que es muy probable que entre mayor sea la concentración de  $CaCl_2$  adicionado, se presenten una mayor cantidad de microporos en la microestructura del queso Cheddar.

Debido a que estos cambios en la red de caseinatos y la microestructura del queso obtenida antes del prensado (después del Cheddarizado), podrían generar más “rutas de escape” para la grasa.

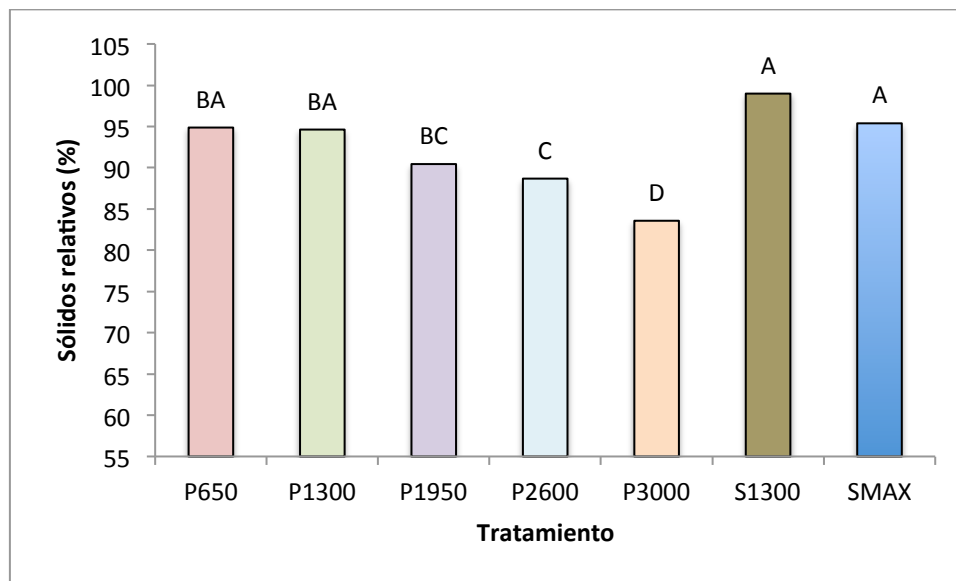


**Figura 10.** Contenido de grasa relativa en los quesos Chihuahua (bs).

\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento (n = 3) respecto su control. Barras con diferentes letras, indican diferencia significativa (Tukey,  $P < 0.05$ ). La letra “P” en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra “S” durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

Los sólidos totales se comportaron de forma inversa a la humedad. Como era de esperarse, el enriquecimiento con mayores concentraciones de Mg por el primer método produjo los quesos con el menor contenido de sólidos totales. Esto debido a que fueron los que retuvieron más agua.

En los tratamientos aplicados en el salado no hubo diferencia significativa y presentan la misma cantidad que P650 y P1300. Esto sucede por que dichos tratamientos contuvieron el mismo porcentaje de humedad. El tratamiento P3000 mostró la menor cantidad de sólidos totales (Figura 11).

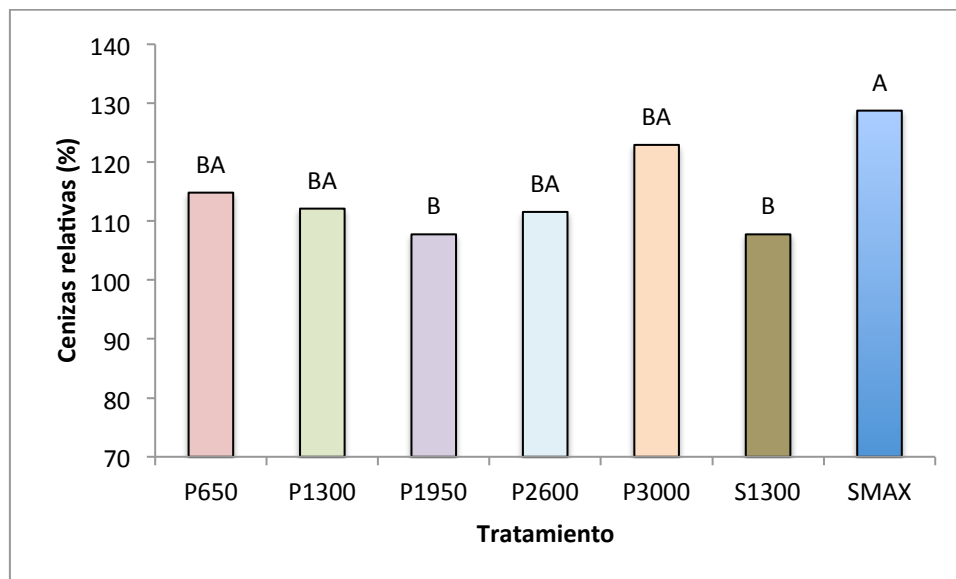


**Figura 11.** Sólidos totales relativos de los quesos Chihuahua.

\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento (n = 3) respecto su control. Barras con diferentes letras, indican diferencia significativa (Tukey, P < 0.05). La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

En el caso del contenido de cenizas, éste se incrementó por la adición de Mg con respecto a sus controles (considerando que los controles son el 100%); sin embargo, solo hubo diferencia significativa entre los tratamientos SMAX y P1950 y S1300 (Figura 12). Esto indica que se requiere adicionar una gran cantidad de Mg, para que se presente una diferencia significativa en el contenido de cenizas entre los tratamientos. Al no haber diferencia significativa entre los demás, se contradice la lógica de que entre más mineral se adiciona, mayor contenido de cenizas se presentará. Esto se puede justificar con el hecho de que la pérdida en el contenido de Ca fue proporcional al incremento en el contenido de Mg por el enriquecimiento con MgCl<sub>2</sub> en leche y cuajada.

No obstante como se observa en la Figura 12, la adición del Mg ( $MgCl_2$ ) repercute proporcionalmente a medida que se adiciona, en la pérdida del Ca. Por lo que esta pérdida de Ca aminora el alza en contenido de cenizas por el incremento en el contenido de Mg. Pese a ello, en los tratamientos con mayor enriquecimiento de Mg, es mayor la elevación en el contenido de Mg que la pérdida del Ca.

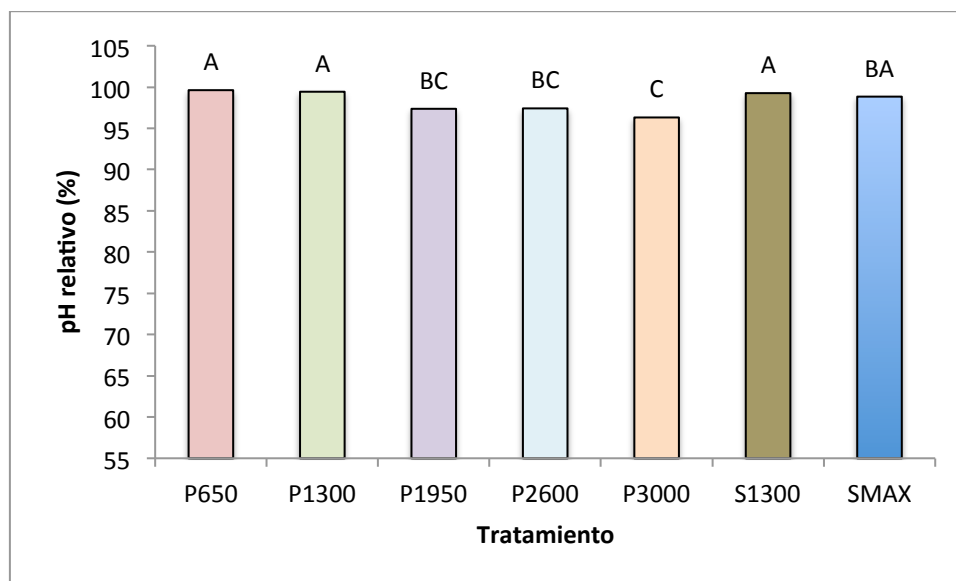


**Figura 12.** Ceniza relativa de los quesos Chihuahua (bs).

\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento ( $n = 3$ ) respecto su control. Barras con diferentes letras, indican diferencia significativa (Tukey,  $P < 0.05$ ). La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de  $Mg/L$  de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de  $Mg/kg$  de cuajada respectivamente.

La adición de Mg durante la pasteurización de la leche, provocó el descenso del pH. A mayor concentración de Mg agregado, el pH relativo descendió (Figura 13). Mientras que los tratamientos enriquecidos con Mg en el salado, no presentaron diferencia significativa. Se pudo observar que entre SMAX y P3000, quienes fueron los tratamientos a los que más se les agregó Mg ( $MgCl_2$ ) exhibieron un pH con diferencia significativa, a pesar de que SMAX contuvo mucha mayor cantidad de Mg total. Por lo tanto, se cree que el pH se ve más afectado cuando se utiliza la primera estrategia que la segunda, probablemente por una menor inhibición de las bacterias lácticas iniciadoras (SLAB).

Estos descensos en el pH final en los quesos pueden ser influenciados por muchos factores, incluyendo la lactosa en el suero del queso, la relación sal-humedad (S:M), las SLAB, las bacterias lácticas no iniciadoras (NSLAB), y las condiciones de almacenamiento (Turner and Thomas, 1980; Thomas and Pearce, 1981; Fox et al., 2004). El método más común para tener un control sobre el pH de los quesos, es la adición de NaCl después de la formación de la cuajada, ya que la sal regula y controla la microflora de los quesos inhibiendo el crecimiento de los cultivos iniciadores (Fox *et al.* 2004; Agarwal *et al.*, 2008, Grummer *et al.*, 2012; Grummer and Schoenfuss, 2011; Fox *et al.*, 2000). No obstante, en el caso del segundo método, aunque se tenga un buen control en la relación S:M, estudios reportan que la cuajada salada con diferentes mezclas de NaCl+MgCl<sub>2</sub>, o solamente MgCl<sub>2</sub>, no inhiben de igual forma los cultivos iniciadores que los quesos salados únicamente con NaCl (McMahon *et al.*, 2014; Fitzgerald and Buckley, 1985; Grummer *et al.*, 2012). En consecuencia una SLAB que no es inhibida puede reducir significativamente el pH del queso fermentando la lactosa disponible produciendo el ácido láctico (Turner and Thomas, 1980).



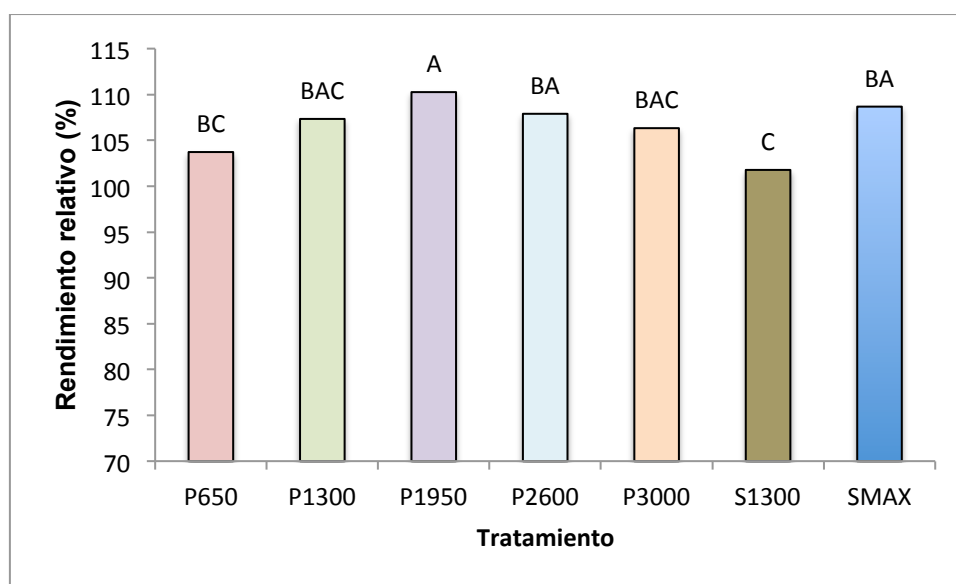
**Figura 13.** pH relativo de los quesos Chihuahua.

\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento (n = 3) respecto su control. Barras con diferentes letras, indican diferencia significativa (Tukey, P < 0.05). La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.



Así mismo, los quesos elaborados a través del primer método, contuvieron más humedad conforme se aumentó la cantidad añadida de Mg, causando que la relación S:M fuera menor, ya que a todos los tratamientos se les aplicó la misma cantidad de NaCl durante el salado del queso, provocando una menor inhibición de las SLAB y por tanto, un pH más bajo. Turner y Thomas (1980) reportaron diferencias en el crecimiento y la utilización de lactosa en diferentes concentraciones de S:M, las cuales mostraron que una baja S:M (4%), permitió que la SLAB tolerante a la sal fermentara la lactosa y produjera concentraciones elevadas de ácido láctico, concordando con los resultados obtenidos por Agarwal y colaboradores (2008).

La adición de  $MgCl_2$  no generó grandes cambios en el rendimiento de los quesos entre los tratamientos, aunque tendió a incrementar conforme se agregó más Mg, se presentaron pocas diferencias significativas en general (Figura 14). El tratamiento S1300 presentó diferencias significativas en comparación a los tratamientos P1950, 2600 y SMAX, muy probablemente a causa de la poca humedad que adquirió en contraste a los tratamientos antes mencionados.



**Figura 14.** Rendimiento relativo de los quesos Chihuahua (bh).

\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento (n = 3) respecto su control. Barras con diferentes letras, indican diferencia significativa (Tukey, P < 0.05). La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

## **6.4. Influencia del MgCl<sub>2</sub> en las propiedades físicas de los quesos Chihuahua**

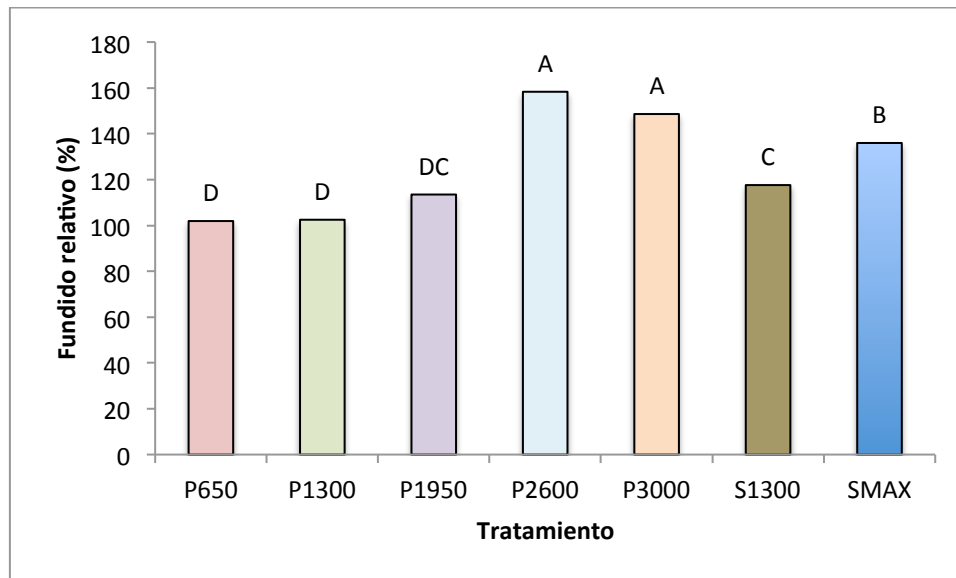
### **6.4.1. Fundido**

Los dos tratamientos más enriquecidos con Mg durante la etapa de pasteurizado, manifestaron el mayor fundido, pudiendo alcanzar hasta un 58% más que su control (P2600 y P3000). S1300 exhibió diferencias significativas respecto a P650 y P1300, presentando un mayor fundido comparados con su control, mientras que SMAX, fue el segundo tratamiento que más fundió. Esto demuestra que el enriquecimiento de Mg origina efectos sobre las propiedades fisicoquímicas de los quesos, los cuales contribuyen en gran manera en el fundido.

El fundido es influenciado por diversos elementos, como el contenido de Ca, el pH, el contenido de grasa y humedad, entre otros (Lucey *et al.*, 2003; Ustunol *et al.*, 1944; Lefevre *et al.*, 2000; Paulson *et al.*, 1988). No obstante, el hecho de que un queso tenga mayor humedad significa que funda más (queso mozzarella por ejemplo), sino la cantidad de agua que quedó atrapada dentro de la red de proteínas, la cual tiene una alta capacidad de ligarlas (Guinee *et al.*, 2000).

La causa de que los tratamientos P2600 y P3000 podría explicarse por el hecho de que perdieron una gran cantidad de CCP disociado por la disminución del pH durante el Cheddarizado, que ligaron una mayor cantidad de agua, y a su vez contuvieron mayor grasa. Por consiguiente, al contener más agua y grasa, y menos Ca, permite a las proteínas fluir con más facilidad y con mayor lubricación cuando el queso se calienta (McHanon and Oberg, 1988; Lefevre *et al.*, 2000).

El pH que presentaron todos los tratamientos fue > 5.0, el cual es efectivo para un buen fundido en cada uno de ellos (Lucey *et al.*, 2003, 2005).



**Figura 15.** Fundido relativo de los quesos Chihuahua.

\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento (n = 3) respecto su control. Barras con diferentes letras, indican diferencia significativa (Tukey, P < 0.05). La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

#### 6.4.2. Análisis de perfil de textura

En la Figura 16 se muestran los efectos de la adición de Mg sobre la firmeza de los quesos. Conforme aumentó la cantidad de Mg se redujo la firmeza de los quesos en ambas estrategias de enriquecimiento. No obstante, se observó que los tratamientos elaborados por medio de la primera estrategia, fueron menos firme (P1950, P2600 y P3000). El tratamiento P2600 fue el menos firme obteniendo un 44% de firmeza en comparación a su control, en tanto P2600 y P3000 fueron los segundos.

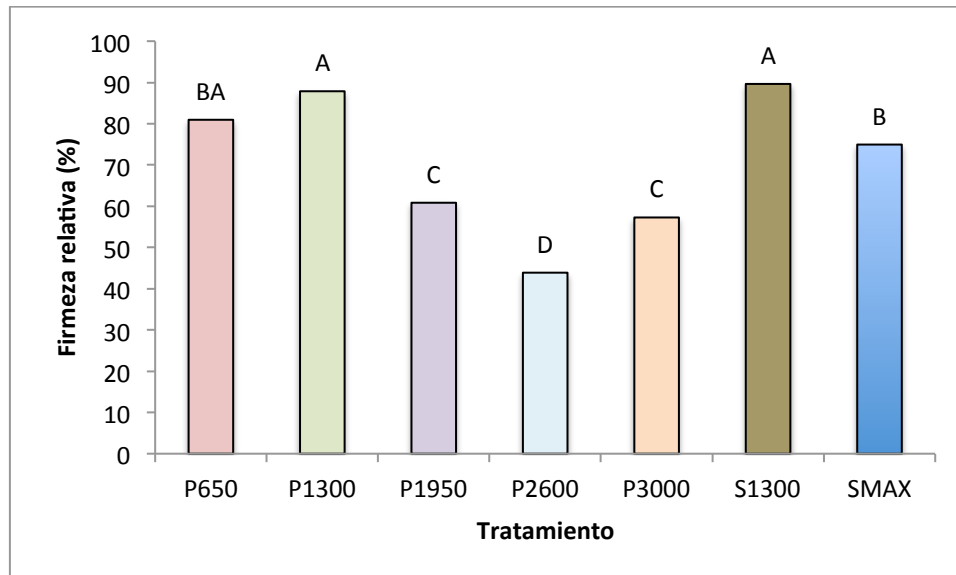
Los parámetros que definen las propiedades de textura, son el Ca, el pH, la humedad y la proteólisis (Lawrence *et al.*, 1987; Lucey and Fox, 1993; Watkinson *et al.*, 2001; Guinee *et al.*, 2002; Joshi *et al.*, 2003; Lucey *et al.*, 2003; Pastorino *et al.*, 2003a,b; Sheehan and Guinee, 2004).

Lawrence y colaboradores (1987), observaron que a mayor contenido de humedad en los quesos, menor firmeza. Es por ello que los tratamientos con

mayor contenido de agua en el presente estudio, tendieron a disminuir en firmeza.

Así mismo, entre más agua y suero se conserva durante la manufactura del queso, más cuajo se retiene hasta el producto terminado, provocando un mayor grado de reblandecimiento en el queso (de Jong, 1978). Esto sucede debido a que la proteólisis de las  $\sigma_{s1}$ -caseínas sucede en mayor proporción, y combinado con la creencia de un S:M bajo, se promueve aún más durante la maduración, debilitando la estructura del queso (Lawrence *et al.*, 1987; de Jong, 1978).

En concordancia con los resultados obtenidos en este trabajo, los reportes de Lefier y colaboradores (1987), Chamba y Debry (1994) y Grummer y colaboradores (2011), quienes elaboraron quesos Gruyère, Emmental y Cheddar respectivamente, obtuvieron valores que demostraron que los quesos a los que agregaron  $MgCl_2$  (salmuera), y mezclas de  $NaCl + MgCl_2$  durante el salado de la cuajada, fueron más blandos en general.



**Figura 16.** Firmeza relativa de los quesos Chihuahua.

\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento (n = 3) respecto su control. Barras con diferentes letras, indican diferencia significativa (Tukey, P < 0.05). La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

### 6.4.3. Análisis sensorial de los quesos Chihuahua

En la Tabla 18 se describen los resultados del análisis sensorial de los quesos enriquecidos con Mg y sus respectivos controles. A partir del tratamiento P1950, los panelistas pudieron detectar con facilidad los quesos enriquecidos con Mg. En general, los comentarios de los panelistas indicaron que los quesos con Mg presentaron un sabor amargo-ácido y una textura más blanda. No obstante, se mostró aceptación, aún y cuando hubo diferencias significativas entre los tratamientos y su control. La firmeza suave que denotaron los panelistas coincide con los resultados de textura, ya que los tratamientos de P1950, P2600, P3000 fueron los más blandos.

Los panelistas lograron identificar el tratamiento S1300 de su control; sin embargo, no distinguieron los quesos enriquecidos con Mg durante la pasteurización (P650 y P1300) y sus respectivos controles. Esto sugiere que la adición de Mg a la cuajada modifica en mayor medida las propiedades organolépticas del queso. Esto es posible que se deba a que al tener poco tiempo de maduración el queso, el Mg no alcanza a homogenizarse en la red proteica y queda más expuesto en la superficie del queso.

A su vez, el tratamiento SMAX fue el tratamiento que más presentó un sabor amargo-ácido. Por lo tanto, el enriquecimiento de los quesos con 2800 mg de Mg/kg de queso, producen efectos no deseados. Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con los reportados por Grummer y colaboradores (2011), donde sus quesos Cheddar salados con  $MgCl_2$  y mezclas de  $NaCl + MgCl_2$  exhibieron sabores amargos y metálicos, entre otros. Fitzgerald y Buckley (1985) también apoyan estos hallazgos sobre el efecto ocasionado por el salado con mezclas de  $NaCl + MgCl_2$  (1:1 molar), produciendo un sabor amargo y metálico en sus quesos. A su vez explican que en su trabajo no aplicaron evaluación sensorial a los quesos Cheddar salados únicamente con  $MgCl_2$  (13.5 g de  $MgCl_2$ /kg de cuajada), debido a la extrema amargura originada por la sal.

Sin embargo, el tratamiento P1300 obtuvo un contenido de Mg de 1766.44 mg/kg de queso, que aunque no sea la cifra deseada, se logró obtener un

aumento el contenido de Mg de un 544.7%, sin que se tenga un efecto detectable sobre las propiedades organolépticas de los quesos.

**Tabla 18.** Prueba triangular de los quesos Chihuahua.

Tratamiento	Respuesta		Diferencia P < 0.001	Comentarios generales
	Correcta	Incorrecta		
P650	31	44	Sin diferencia significativa	
P1300	37	38	Sin diferencia significativa	
P1950	61	14	Diferencia significativa	Los tratamientos eran de sabor ligeramente más amargo-ácido y de textura más suave comparado con su control. Presentan un sabor aceptable.
P2600	60	13	Diferencia significativa	
P3000	52	23	Diferencia significativa	
S1300	44	31	Diferencia significativa	
SMAX	60	15	Diferencia significativa	

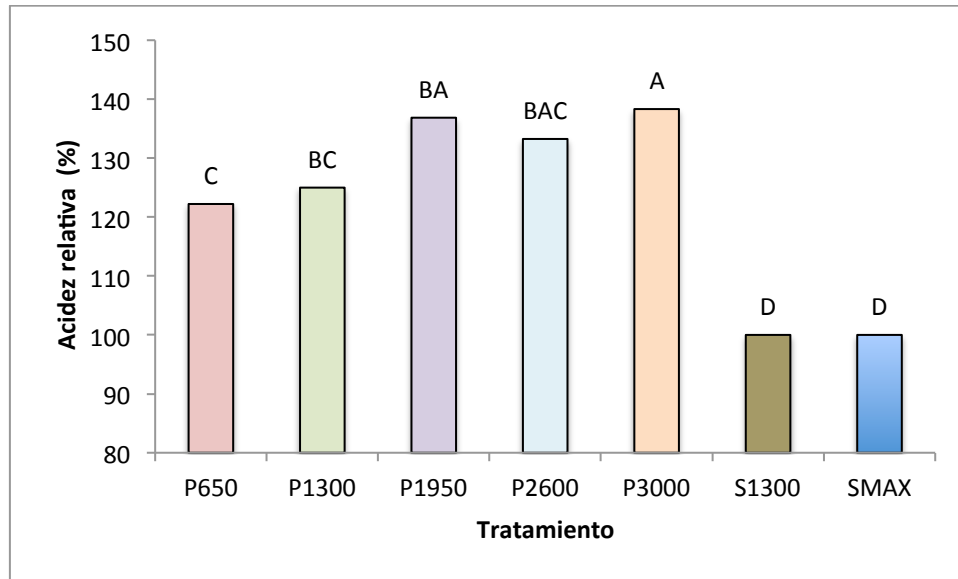
\* = Todas las pruebas se realizaron entre los tratamientos y su respectivo control. Para el análisis estadístico se utilizaron las tablas de Roessler y col. (1948). La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

### 6.5. Influencia de la adición de $MgCl_2$ sobre los parámetros del proceso de elaboración de los quesos Chihuahua

Al haber adicionado el  $MgCl_2$  en los tratamientos S1300 y SMAX hasta la etapa del salado, los tratamientos que afectaron los parámetros durante la manufactura de los quesos Chihuahua fueron los realizados mediante el primer método. Estos últimos indujeron un número de cambios durante el proceso.

El primer efecto ocasionado por el enriquecimiento de Mg, fue el aumento de la acidificación de la leche (Figura 17). Al tomarse la lectura de acidez al término del tiempo de acidificación, es decir, después de la adición del cultivo iniciador. El aumento ocurrió de manera sistemática elevándose conforme se aumentó la concentración de  $MgCl_2$  adicionado. Este aumento en la acidez, se debe al cambio en el equilibrio dinámico de minerales en la leche, liberan grupos  $H^+$ , a consecuencia de la interacción del  $Mg^{2+}$  y  $Ca^{2+}$  con los citratos y fosfatos inorgánicos en la fase continua, entre más cationes se agreguen, mayor número

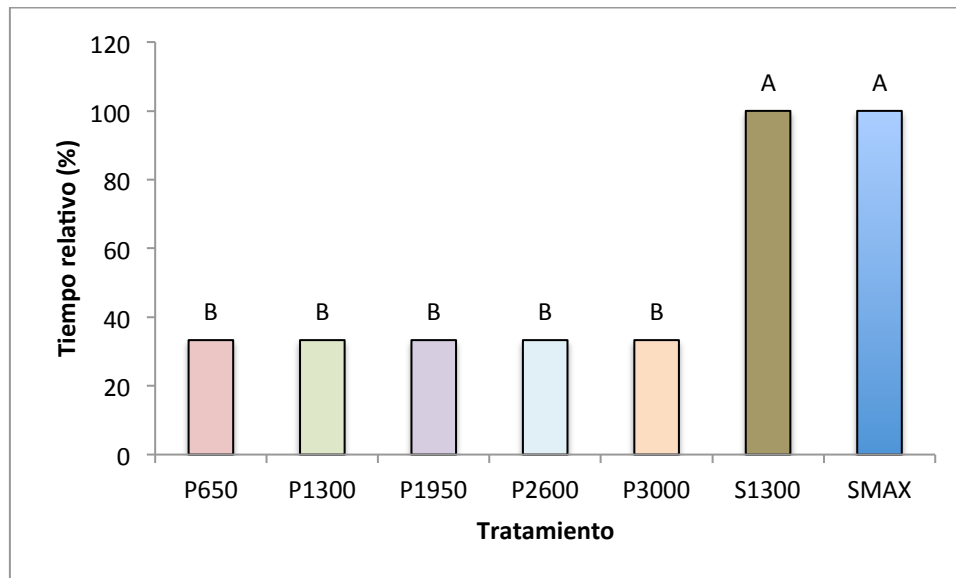
de grupos  $H^+$  liberados (Phillipe *et al.*, 2005). Por lo tanto, la adición de Mg produce el mismo efecto que al añadir  $CaCl_2$  (Flieler y Puhan, 1978; van Hooydonk y van den Berg, 1988).



**Figura 17.** Acidez relativa al término de la acidificación.

\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento (n = 3) respecto su control. Barras con diferentes letras, indican diferencia significativa (Tukey,  $P < 0.05$ ). La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

Asimismo, como consecuencia de este aumento en la acidez de la leche, el lapso de tiempo de la acidificación de la leche (aumento de 2 °D después de agregar el cultivo iniciador) fue de tan solo 10 min (Figura 18), mientras que el de los quesos control fue de 30 min. La razón por la que todos los tratamientos del primer método duraron 10 min, es debido a que se agitó la leche por ese periodo de tiempo después de adicionar el cultivo, ya que es lo recomendado para homogenizar las bacterias lo más posible en toda la leche.



**Figura 18.** Tiempo relativo de la acidificación.

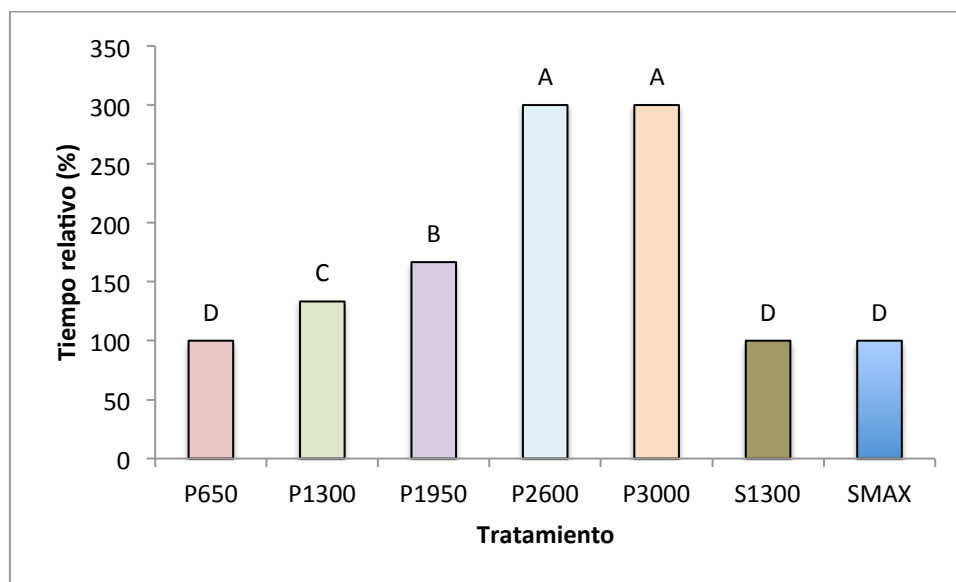
\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento (n = 3) respecto su control. Barras con diferentes letras, indican diferencia significativa (Tukey, P < 0.05). La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

Respecto a la coagulación de la leche, al aumentar la concentración de Mg añadido, se incrementó el tiempo de coagulación, como se muestra en la Figura 19. Los tratamientos P2600 y P3000 tardaron más tiempo en alcanzar la firmeza adecuada para proceder al corte de la cuajada. Es decir, a pesar de que la adición de  $MgCl_2$  produjo un aumento en la acidez de la leche, y por ende una disminución de su pH, esto no condujo a una mayor agregación de las caseínas, como normalmente sucede (Mehaia and Cheryan, 1983; Gastaldi et al., 1994).

Pyne (1955) reportó que los iones de Mg, entre otros, pueden afectar los requerimientos de  $Ca^{2+}$  para la coagulación, posiblemente a causa del antagonismo que tiene por naturaleza hacia el Ca. La concentración del  $Ca^{2+}$  afecta la coagulación de la leche al formar puentes entre las micelas para formar el coágulo (Berridge, 1952; Bridge and Kinsella, 1986b). De manera que la formación de un coágulo es dependiente del  $Ca^{2+}$  además del pH (Brown y Collinge, 1986; Bringe y Kinsella, 1986b).



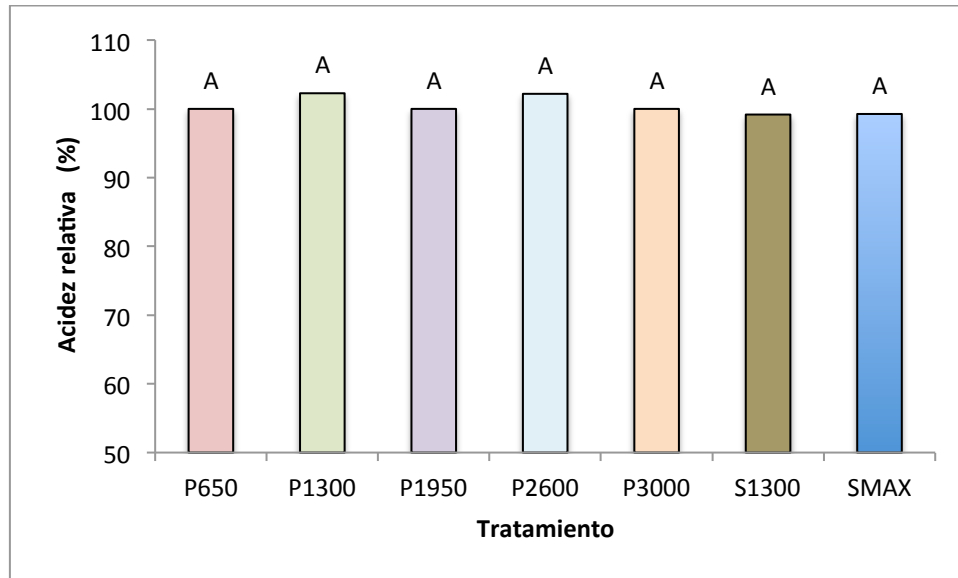
De hecho, durante estudios preliminares se comprobó que la adición de 3500 mg de Mg/L de leche (29.29 g de  $MgCl_2 \cdot 6H_2O/L$  de leche) impidió la coagulación de la leche, ya que se esperaron por más de 5 h sin obtener ningún resultado. Es por ello que el tiempo aumentó hasta en un 300%.



**Figura 19.** Tiempo relativo de corte.

\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento (n = 3) respecto su control. Barras con diferentes letras, indican diferencia significativa (Tukey,  $P < 0.05$ ). La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

Algo interesante fue que a pesar de que la adición de  $MgCl_2$  provocó un aumento de acidez en la leche, no provocó variaciones en el tiempo de Cheddarizado, donde todos los tratamientos duraron 120 min, ni tampoco en la acidez final al término del cheddarizado (Figura 20).



**Figura 20.** Acidez relativa al término del cheddarizado.

\* = Los resultados se expresaron como % relativo de cada tratamiento (n = 3) respecto su control. Barras con diferentes letras, indican diferencia significativa (Tukey, P < 0.05). La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

## 7. CONCLUSIÓN

En el presente estudio se logró superar el enriquecimiento planteado (2800 mg de Mg/kg de queso) del queso con Mg por las 2 estrategias evaluadas. Se aumentó el contenido de Mg total en un 833.54% (2957.13 mg de Mg/kg de queso) con el primer método y un 2383.89% (7523.13 mg de Mg/kg de queso) con el segundo. No obstante, los quesos con dichos contenidos de Mg produjeron sabores amargos y texturas menos firmes.

El enriquecimiento del queso Chihuahua a través de la adición directa de Mg a la leche proporcionó un mayor contenido de Mg total en el queso (1766.44 mg de Mg/kg de queso), aumentando un 544.67% (P1300) su contenido respecto a su control, sin ocasionar cambios perceptibles por el consumidor.

El pH, el contenido de humedad, proteínas y grasa se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la norma mexicana NMX-F-738-COFOCALEC-2011 en los quesos enriquecidos por ambas estrategias (adición directa a la leche y a la cuajada).

La adición de Mg para enriquecer los quesos por cualquiera de las dos estrategias provocó un incremento en el contenido total de Mg, y una pérdida en el contenido total de Ca, los cuales fueron proporcionales a la concentración de Mg añadido. El contenido de humedad y proteínas en el queso, aumentó a medida que se elevó la concentración de Mg añadido, al igual que su propiedad de fundir. En contraste, el pH y el contenido y grasa disminuyeron. La adición directa del Mg en la leche aumentó la acidez y redujo el tiempo de acidificación; mientras que el tiempo de corte aumentó cuando el queso se enriqueció con mayor cantidad de Mg. El contenido de ceniza aumentó respecto a los quesos control al adicionar el Mg; no obstante el incremento no fue proporcional a la cantidad de Mg añadida.

Estas variaciones indican efectos diferenciados sobre la cantidad de agua ligada, la solubilidad de las proteínas de la leche, el desplazamiento del Ca, la inhibición de los cultivos iniciadores, la modificación de la estructura de la red proteica, y las características organolépticas del queso.

Con base a la perspectiva nutricional y de calidad, la mejor opción es aplicar la primera estrategia para el enriquecimiento de los quesos Chihuahua, ya que permite aumentar el contenido de Mg total, con mayor aceptación del consumidor y cumpliendo con la ingesta recomendada diaria de Mg.

El enriquecimiento del queso P1300 cumplió con el 66% del requerimiento nutricional establecido por el Instituto de Medicina, al consumirse las 3 porciones recomendadas de lácteos y derivados por el departamento de agricultura de los Estados Unidos.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Agarwal, S., Powers, J.R., Swanson, B.G., Chen, S., and Clark S. (2008). Influence of Salt-to-Moisture Ratio on Starter Culture and Calcium Lactate Crystal Formation. *J. Dairy Sci.*; 91:2967-2980.

Bruno, G. (2013). The importance of Magnesium. *Natural Products Insider*: 6.

Byler, D. M., & Farrell, H. M., Jr. (1989). Infrared spectroscopic evidence for calcium ion interaction with carboxylate groups of casein. *Journal of Dairy Science*; 72: 1719–1723.

Centro de Información de Productos Lácteos Canadiense, 2015 [http://www.dairyinfo.gc.ca/index\\_e.php?s1=dfffcil&s2=cons&s3=consglo&s4=tc-ft](http://www.dairyinfo.gc.ca/index_e.php?s1=dfffcil&s2=cons&s3=consglo&s4=tc-ft) 25 de octubre del 2016.

Creighton, T.E. (1984). *Proteins: Structures and Molecular Properties*. 2nd ed. W. H. Freeman and Company, New York, NY.

Dalgleish, D. G. (1983). Coagulation of renneted bovine casein micelles-dependence on temperature, calcium-ion concentration and ionic strength. *Journal of Dairy Research*, 50, 331-340.

Dalgleish, D.G. (1992) The enzymatic coagulation of milk, in *Advanced Dairy Chemistry*, Vol. 1. (ed. P.F. Fox), Elsevier Applied Science, London, pp. 579-619.

Dalgleish, D.G. (1993) The enzymatic coagulation of milk, in *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Vol. 1, 2nd edn (ed. P.F. Fox), Chapman & Hall, London. pp. 69-100.

- de Jong, L. (1978). The influence of the moisture content on the consistency and protein breakdown of cheese. *Neth. Milk Dairy J.*; 32:1.
- de la Fuente, M.A. & Juárez, M. (2015). Milk and dairy products. Ed. de la Guardia, M. and Garrigues, S. *Handbook of Mineral Elements in Food*. pp.645-668
- Deosthale Y.G., Belavady B (1978). Mineral and Trace Element composition of sorghum grain: effect of variety, location and application of the nitrogen fertilizer. *Indian Journal of Nutrition and Dietetics*, 15 (9). pp. 302-308.
- Dougherty, D. A. (1996). Cation–p interactions in chemistry and biology: A new view of benzene, Phe, Tyr and Trp. *Science*; 271: 163–168.
- Elin R.J. (2010). Assessment of magnesium status for diagnosis and therapy. *Magnes Res*; 23: 194–198
- Farrel, H.M. (2011). Casein Nomenclature, Structure, and Association Ed. Fox, P. F. & Mcsweeney, P.L.H. – Fuquay, J.W. *Encyclopedia Of Dairy Science*, Elsevier Ltd. All Rights Reserved. pp. 765-772.
- Flüeler, O., & Puhan, Z. (1978). Neue erkenntnisse u“ber die labtra“gheit der mich. *Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung*; 7: 61–68.
- FoodBev 2016 <http://www.foodbev.com/news/cheese-global-production-and-consumption-trends/> 15 de septiembre del 2016.
- Ford E.S. and Mokdad A.H. (2003). Dietary magnesium intake in a national sample of US adults. *J Nutr*; 133: 2879–2882
- Fox C., Ramsoomair D., Carter C. (2001). Magnesium: its proven and potential clinical significance. *South Med J*; 94: 1195–1201

Fox P., McSweeney P., Cogan T.M., and Guinee, T.P. (2004). CHEESE Chemistry, Physics and Microbiology. Volume 1 General Aspects. Elsevier. U.K.

Fox, P. F., Guinee TP, Cogan TM, and McSweeney PLH (2000) Fundamentals of Cheese Science. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers.

Fox, P. F., L. H. McSweeney, M. T. Cogan, and P. Guinee. (2004). Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. Vol. 2. 3rd ed. Elsevier Academic Press, London, UK.

Fox, P.F. (1984) Proteolysis and protein-protein interactions in cheese manufacture, in *Developments in Food Proteins-3*, (ed. B.J.F. Hudson), Elsevier Applied Science Publishers, London. pp. 691-12.

Fox, P.F. and Mulvihill, D.M. (1990) Casein, in *Food Gels* (ed. P. Harris), Elsevier Applied Science Publishers, London. pp. 121-73.

Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney PLH. (2000). Enzymatic Coagulation of Milk. Fundamentals of Cheese Science. Aspen Publishers, Inc, Gaithersburg, MD. pp. 98-137.

Gastaldi, E., Pellegrini, O., Lagaude, A., & Fuente, B. T. (1994). Functions of added calcium in acid milk coagulation. *Journal of Food Science*; 59, 310-312.

Gaucheron, F. (2005). The minerals of milk. *Reproduction Nutrition Development*, EDP Sciences; 45(4): 473-483.

Gaucheron, F. and Farrel, H.M. (2011). Milk Salts Ed. Fox, P. F. & Mcsweeney,

P.L.H. – Fuquay, J.W. Encyclopedia Of Dairy Science, Elsevier Ltd. All Rights Reserved. pp. 765-772.

Gaucheron, F., Le Graët, Y., Boyaval, E., & Piot, M. (1997). Binding of cations to casein molecules: Importance of physico-chemical conditions. *Milchwissenschaft*; 52: 322–327.

Gordon R.F. (1977). *Poultry Diseases*. The English Language Book Society and Bailliere Tindall, London.

Graham L., Caesar J., Burgen A. (1960). Gastrointestinal absorption and excretion of  $Mg^{28}$  in man. *Metabolism*; 9: 646–659.

Grummer, J. and Schoenfuss T.C. (2011) Determining salt concentrations for equivalent water activity in reduced-sodium cheese by use of a model system. *J. Dairy Sci.*; 94:4360-4365.

Grummer, J., Karalus, M., Zhang, K., Vickers, Z. and Schoenfuss, T.C. (2012). "Manufacture of reduced-sodium Cheddar-style cheese with mineral salt replacers. *J. Dairy Sci.*; 95(6): 2830-2839.

Guinee, T. P., E. P. Feeney, M. A. E. Auty, and P. F. Fox. (2002). Effect of pH and calcium concentration on some textural and functional properties of Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.*; 85:1655–1669.

Guinee, T. P., Harrington, D., Corcoran, M. O., Mulholland, E. O., & Mullins, C. (2000). The compositional and functional properties of commercial mozzarella, cheddar and analogue pizza cheeses. *International Journal of Dairy Technology*; 53(2): 51-56.



- Guinee, T. P., Mulholland, E. O., Kelly, J., & Callaghan, D. J. O. (2007). Effect of Protein-to-Fat Ratio of Milk on the Composition, Manufacturing Efficiency, and Yield of Cheddar Cheese. *Journal of Dairy Science*; 90(1): 110–123.
- Guinee, T.P. and Fox, P.F. (1993). Salt in cheese; physical, chemical and biological aspects, in, *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Vol. 1, General Aspects, 2nd edn, P. Fox, ed., Chapman & Hall, London. pp. 257-302.
- Hays V.W., Swenson M.J. (1985). Minerals and Bones. In: *Dukes' Physiology of Domestic Animals*, Tenth Edition pp. 449-466.
- Horne, D.S. (2011). Casein, Micellar Structure Ed Fox, P. F. & Mcsweeney, P.L.H. – Fuquay, J.W. *Encyclopedia Of Dairy Science*, Elsevier Ltd. All Rights Reserved. Pp. 772-779.
- Huppertz, T., Fox, P. F., & Kelly, A. L. (2004). Effects of high pressure treatment on the yield of cheese curd from bovine milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*; 5(1): 1–8.
- Jahnen-Dechent, W. and Ketteler, M. (2012) Magnesium basics. *Clin Kidney J*, 5(1): i3–i14.
- Joshi, N. S., K. Muthukumarappan, and R. I. Dave. (2003). Understanding the role of calcium in functionality of part-skim Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.*; 86:1918–1926.
- Katz, A. K., Glusker, J.P., Beebe, S.A. and Charles W. Bock, W.C. (1996). Calcium Ion Coordination: A Comparison with That of Beryllium, Magnesium, and Zinc. *Journal of the American Chemical Society*; 118 (24): 5752-5763.

- Kayne L.H., Lee D.B. (1993). Intestinal magnesium absorption. *Miner Electrolyte Metab*; 19: 210–217.
- Kayne LH, Lee DB. Intestinal magnesium absorption. *Miner Electrolyte Metab* 1993; 19: 210–217.
- Kotilainen, L., Rajalahti, R., Ragasa, C., & Pehu, E. (2006). Health enhancing foods: Opportunities for strengthening the sector in developing countries. *Agriculture and Rural Development Discussion Paper 30*.
- Lawrence, R.C., Creamer, L.K., & Gilles, J. (1987). Texture Development During Cheese Ripening. *Journal of Dairy Science*; 70(8): 1748–1760.
- Lefevre, I., Dewettinck, K., & Huyghebaert, A. (2000). Cheese fat as driving force in cheese flow upon melting. *Milchwissenschaft*, 55(10): 563-566.
- Lucey J.A. and Fox, P.F. (1993). Importance of calcium and Phosphate in cheese manufacture: A Review. *Journal of Dairy Science*; 76(6): 1714-1724.
- Lucey J.A. and Horn D.S. (2009). Milk Salts: Technological Significance. En *Advanced Dairy Chemistry, Volume 3: Lactose, Water, Salts and Minor Constituents*. Edited by P.L.H. McSweeney and P.F. Fox. pp. 351-389.
- Lucey, J. A., M. E. Johnson, and D. S. Horne. (2003). Perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. *J. Dairy Sci.* 86:2725–2743.
- Lucey, J. A., R. Mishra, A. Hassan, and M. E. Johnson. (2005). Rheological and calcium equilibrium changes during ripening of Cheddar cheese. *Int. Dairy J.*; 15:645–653.
- Lucey, J.A. (2011). *Rennet-Induced Coagulation of Milk* Ed. Fox, P. F. -&

Mcsweeney, P.L.H. – Fuquay, J.W. Encyclopedia Of Dairy Science, Elsevier Ltd. All Rights Reserved. pp. 579-584.

McDowell L.R., Conrad J.H., Ellis G.I. (1984). Mineral deficiencies and imbalances and their diagnosis. Proc. Symp. on Herbivore nutrition in subtropics and tropics, Pretoria pp. 67-88.

McMahon, D. J., and C. J. Oberg. (1998). Role of calcium and sodium in functionality of Mozzarella cheese. 35th Annual Marschall Italian Specialty Cheese Seminar, Madison, WI.

McMahon, D.J. and Oommen, B.S. (1992) The enzymatic coagulation of milk, in *Advanced Dairy Chemistry*, Vol. 1. (ed. P.F. Fox), Elsevier Applied Science, London. pp. 185-209.

McMahon, D.J., Oberg C.J., Drake, M.A., Farkye, N., Moyes, L.V., Arnold, M.R., Ganesan, B., Steele, J. and Broadbent, J.R. (2014) Effect of sodium, potassium, magnesium, and calcium salt cations on pH, proteolysis, organic acids, and microbial populations during storage of full-fat Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*; 97(8): 4780 – 4798.

Menrad, K. (2003). Market and marketing of functional food in Europe. *Journal of Food Engineering*; 56: 181–188.

Mertz W. (1981). The essential trace elements. *Science*; 213:1332–1338.

Mollet B. & Rowland, I. (2002). Functional foods: At the frontier between food and pharma. *Current Opinion in Biotechnology*; 13: 483–485.

NORMA Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994, Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición.

## Especificaciones nutrimentales.

O'Mahony, J. A. and P. F. Fox, (2014). Chapter 2 - Milk: An Overview. Milk Proteins (Second edition). San Diego, Academic Press. pp. 19-73.

Okigbo L. M., Richardson G. H., Brown R. J., & Ernstrom C. A. (1985). Effects of pH, calcium chloride, and chymosin concentration on coagulation properties of abnormal and normal milk. *Journal of Dairy Science*; 68: 2527-2533.

Ong, L., Dagastine, R. R., Kentish, S. E., & Gras, S. L. (2013). The effect of calcium chloride addition on the microstructure and composition of Cheddar cheese. *International Dairy Journal*; 33(2): 135–141.

Ozcan M. (2003). Mineral Contents of some Plants used as condiments in Turkey. *Food Chemistry* 84: 437-440.

Pastorino, A. J., C. L. Hansen, and D. J. McMahon. (2003b). Effect of pH on the chemical composition and structure-function relationships of cheese. *J. Dairy Sci.* 86:2751–2760.

Pastorino, A. J., N. P. Ricks, C. L. Hansen, and D. J. McMahon. (2003a). Effect of calcium and water injection on structure-function relationships of cheese. *J. Dairy Sci.* 86:105–113.

Patwardhan V.N. (1961). *Nutrition in India*. 2end., Ind. J. Med. Sci., Bombay. pp. 60

Paulson, B. M., D. J. McMahon, and C. J. Oberg. (1998). Influence of sodium chloride on appearance, functionality and protein arrangements in nonfat Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.*; 81:2053–2064.

Philippe, M., Gaucheron, F., Le Graët, Y., Michel, F., Garem A. (2003). Physicochemical characterization of calcium-supplemented skim milk. *Lait*; 83: 45–59.

Philippe, M., Le Graët, Y., Gaucheron, F. (2005). The effects of different cations on the physicochemical characteristics of casein micelles, *Food Chemistry*; 90(4): 673-683.

Pierre A, Brulé G, Fauquant J. (1983). Study of Ca exchangeability in milk with <sup>45</sup>Ca *Le Lait*; 63: 473–489.

Roberfroid, M. B. (2000a). An European consensus of scientific concepts of functional foods. *Nutrition*; 16: 689–691.

Roberfroid, M. B. (2000b). Concepts and strategy of functional food science: The European perspective. *The American Journal of Clinical Nutrition*; 71: S1660–S1664.

Ryan M.F. (1991). The role of magnesium in clinical biochemistry: an overview. *Ann Clin Biochem*; 28: 19- 26.

Saris N.E., Mervaala E., Karppanen H., Karppanen H., Khawaja J.A., Lewenstam A. (2000). An update on physiological, clinical and analytical aspects. *Clin Chim Acta*; 294: 1–26.

Saris NE, Mervaala E, Karppanen H et al. An update on physiological, clinical and analytical aspects. *Clin Chim Acta* 2000; 294: 1–26.

Sepúlveda, D.R., Amézquita, L.E. y Esparza, A. (2012). *Manufactura del Queso Chihuahua*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.

Todos los derechos reservados. Cuauhtémoc, México.

- Sheehan, J. J., and T. P. Guinee. (2004). Effect of pH and calcium level on the biochemical, textural and functional properties of reduced-fat Mozzarella cheese. *Int. Dairy J.*; 14:161–172.
- Siro, I., Kapolna, E., Kapolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. *Appetite*, 51(3), 456-467.
- Spence, J. T. (2006). Challenges related to the composition of functional foods. *Journal of Food Composition and Analysis*; 19: S4–S6.
- Swaminathan R. (2003) Magnesium metabolism and its disorders. *Clin Biochem Rev*; 24: 47–66.
- Thomas, T.D. and Pearce K.N. (1981). Influence of salt on lactose fermentation and proteolysis in Cheddar cheese. *N. Z. J. Dairy Sci. Technol.*; 16:253–259.
- Touyz R.M. (2004). Magnesium in clinical medicine. *Front Biosci*; 9: 1278–1293.
- Tsioulpas, A., Lewis, M.J. y Grandison, A.S. (2007). Effect of Minerals on Casein Micelle Stability of Cow's Milk. *Journal of Dairy Research*; 74(2):167-173.
- Turner, K. W., and Thomas, T.D. (1980). Lactose fermentation in Cheddar cheese and the effect of salt. *N. Z. J. Dairy Sci. Technol.*; 15:265–276.
- Ustunol, Z. & Hicks, C. L. (1990). Effect of calcium addition on yield of cheese manufactured with *Endothia parasitica* protease. *Journal of Dairy Science*; 73: 17-25.

- Ustunol, Z., Kawachi, K., & Steffe, J. (1994). Arnott test correlates with dynamic rheological properties for determining cheddar cheese meltability. *Journal of Food Science*; 59(5): 970-971.
- van Hooydonk, A. C. M., & van den Berg, G. (1988). Control and determination of the curd-setting during cheese making (bulletin 225). Brussels: International Dairy Federation.
- Verdú, J. M. (2013). *Nutrición para educadores*. Editorial Díaz de Santos, S.A. pp 149-182.
- Vormann, J. and Anke M. (2002). Dietary magnesium: supply, requirements and recommendations—results from duplicate and balance studies in man. *J. Clin. Basic Cardiol*; 5: 49–53.
- Walstra, P. (1999). Casein sub-micelles: do they exist?. *International Dairy Journal*; 9(3–6): 189-192.
- Walstra, P., Wouters, J.T.M., and Geurts, T.J. (2006). *Dairy Science and Technology*. CRC Press. Nueva York. EUA.
- Watkinson, P., C. Coker, R. Crawford, C. Dodds, K. Johnston, A. McKenna, and N. White. (2001). Effect of cheese pH and ripening time on model cheese textural properties and proteolysis. *Int. Dairy J.*; 11:455–464.
- Weast RC. *Handbook of Chemistry and Physics*. Boca Raton, FL: CRC Press; 1987.
- Wolfschoon-Pombo, A. F. (1997). Influence of calcium chloride addition to milk on the cheese yield. *International Dairy Journal*; 7: 249-254.

World Health Organization. (1996). Trace Elements in Human Nutrition and Health. WHO, Geneva.

Young, Y. (2000). Functional foods and the European consumer. In J. Buttriss & M. Saltmarsh (Eds.), Functional foods. II. Claims and evidence. London, UK: The Royal Society of Chemistry.



**9. APÉNDICE A**  
**Resultados no relativos**

**Tabla A-1.** Contenido de magnesio y calcio total en los quesos Chihuahua.

Tratamiento	Base Húmeda		Base Seca	
	Mg Total (mg/kg)	Ca Total (mg/kg)	Mg Total (mg/kg)	Ca Total (mg/kg)
Control P650	328.53	8306.16	500.88	12663.76
Control P650	341.44	8091.36	520.45	12333.45
Control P650	289.06	7899.34	441.99	12078.50
Control P1300	327.43	8314.61	499.74	12690.19
Control P1300	359.79	8559.36	549.42	13070.72
Control P1300	317.92	8050.07	478.00	12103.55
Control P1950	362.58	8368.27	553.81	12781.84
Control P1950	320.40	8267.09	489.87	12639.84
Control P1950	319.62	7869.23	492.37	12122.36
Control P2600	315.06	8308.17	465.79	12282.93
Control P2600	312.87	8305.17	458.68	12175.88
Control P2600	356.09	8307.68	526.60	12285.84
Control P3000	327.71	8312.54	486.07	12329.49
Control P3000	354.05	8113.44	522.58	11975.57
Control P3000	384.63	8476.06	573.72	12643.29
Control S1300	302.03	8770.90	495.30	14383.24
Control S1300	328.14	8704.74	541.31	14359.51
Control S1300	317.73	8854.23	512.13	14271.82
Control SMAX	316.70	8806.05	481.90	13399.35
Control SMAX	314.19	8514.60	510.79	13842.62
Control SMAX	323.15	8498.54	517.13	13599.84
P650	1217.80	7404.90	1961.19	11925.11
P650	1195.95	7428.30	1924.76	11955.10
P650	1160.75	6815.16	1863.31	10940.14
P1300	1783.41	7374.19	2858.49	11819.51
P1300	1760.24	7015.73	2832.24	11288.38
P1300	1755.66	7581.00	2815.14	12155.86
P1950	2345.66	5897.84	3945.60	9920.67
P1950	2248.55	5926.33	3773.37	9945.18
P1950	2295.45	5633.29	3953.58	9702.53
P2600	2677.01	5327.51	4486.47	8928.51
P2600	2632.87	5346.39	4318.51	8769.32
P2600	2691.01	5301.31	4498.13	8861.37
P3000	2861.22	5397.99	5021.89	9474.32

P3000	2891.24	5230.985	5183.75	9378.73
P3000	3118.92	5190.14	5545.24	9227.74
SMAX	7547.17	5568.77	13229.05	9761.21
SMAX	7524.70	5775.62	12940.15	9932.27
SMAX	7497.53	6102.35	12500.05	10173.97
S1300	1027.28	8593.24	1650.25	13804.40
S1300	1409.79	8359.48	2253.15	13360.20
S1300	1407.74	8234.12	2240.55	13105.40

\* = La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

**Tabla A-2.** Composición de los quesos Chihuahua (bh).

Tratamiento	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	pH
Control P650	34.41	22.61	31.245	3.648	5.5
Control P650	34.395	22.17	30.255	3.3925	5.38
Control P650	34.6	22.37	32.49	3.2605	5.37
Control P1300	34.48	22.79	31.99	3.4251	5.38
Control P1300	34.515	24.24	32	3.5809	5.37
Control P1300	33.49	22.8	32.86	3.3539	5.38
Control P1950	34.53	23.82	32.71	3.8018	5.47
Control P1950	34.595	22.58	31.525	3.4631	5.46
Control P1950	35.085	22.33	32.575	3.2281	5.38
Control P2600	32.36	24.57	32.71	3.48	5.43
Control P2600	31.79	24.29	33.86	3.42	5.38
Control P2600	32.38	24.78	33.15	3.49	5.46
Control P3000	32.58	24.51	32.95	3.385	5.42
Control P3000	32.25	24.87	32.68	3.285	5.45
Control P3000	32.96	24.5	32.67	3.49	5.45
Control S1300	39.02	23.94	29.84	3.61	5.49
Control S1300	39.38	22.42	27.82	3.72	5.5
Control S1300	37.96	24.97	29.32	3.70	5.49
Control SMAX	34.28	25.77	31.55	3.81	5.5
Control SMAX	38.49	24.18	29.58	3.52	5.48
Control SMAX	37.51	24.17	30.21	3.66	5.49
P650	37.905	24.702	29.125	3.9255	5.49
P650	37.865	24.07	29.865	3.6752	5.36
P650	37.705	23.865	29.4761	3.6171	5.34
P1300	37.61	24.42	29.76	3.66	5.35
P1300	37.85	23.9	29.13	3.4328	5.34
P1300	37.635	24.735	29.52	3.8727	5.35
P1950	40.55	23	28.18	3.4631	5.34

P1950	40.41	23.32	27.38	3.3211	5.24
P1950	41.94	22.975	27.81	3.3978	5.3
P2600	40.3315	21.88	27.91	3.44	5.3
P2600	39.033	22	27.53	3.38	5.26
P2600	40.175	22.455	28.01	3.46	5.29
P3000	43.025	22.18	24.39	3.46	5.24
P3000	44.225	21.82	24.39	3.48	5.24
P3000	43.755	21.42	24.61	3.49	5.24
SMAX	42.95	21.6	22.38	4.57	5.44
SMAX	41.85	21.74	20.75	4.46	5.43
SMAX	40.02	23.97	22.46	4.51	5.42
S1300	37.75	25.15	27.87	3.76	5.47
S1300	37.43	24.34	29.53	3.99	5.44
S1300	37.17	24.38	29.59	3.96	5.44

\* = La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

**Tabla A-3.** Composición de los quesos Chihuahua (bs).

Tratamiento	Sólidos Totales (%)	Proteínas (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)
Control P650	65.59	34.47	47.64	5.56
Control P650	65.61	33.79	46.12	5.17
Control P650	65.40	34.20	49.68	4.99
Control P1300	65.52	34.78	48.82	5.23
Control P1300	65.49	37.02	48.87	5.47
Control P1300	66.51	34.28	49.41	5.04
Control P1950	65.47	36.38	49.96	5.81
Control P1950	65.41	34.52	48.20	5.29
Control P1950	64.92	34.40	50.18	4.97
Control P2600	62.10	39.78	48.36	6.32
Control P2600	62.14	38.74	49.64	5.91
Control P2600	62.30	38.31	49.02	5.81
Control P3000	62.39	39.14	48.87	5.87
Control P3000	62.15	38.46	48.24	5.52
Control P3000	62.37	39.66	48.73	6.21
Control S1300	59.45	38.69	48.93	5.83
Control S1300	59.59	39.13	45.89	5.57
Control S1300	58.06	39.57	47.26	5.85
Control SMAX	67.64	36.32	48.01	5.14
Control SMAX	68.21	35.61	48.09	5.01

Control SMAX	67.62	36.65	48.34	5.16
P650	67.42	36.35	46.90	5.02
P650	67.75	36.71	48.06	4.85
P650	67.04	36.55	47.32	5.21
P1300	59.67	36.67	47.70	5.77
P1300	60.97	36.09	46.87	5.54
P1300	59.83	37.53	47.33	5.78
P1950	56.98	38.93	47.40	6.07
P1950	55.78	39.12	45.95	6.24
P1950	56.25	38.08	47.90	6.20
P2600	65.72	39.21	46.78	5.79
P2600	61.51	39.31	45.16	5.72
P2600	62.49	38.68	46.82	5.86
P3000	62.25	40.40	42.81	6.04
P3000	62.57	38.90	43.73	6.38
P3000	62.83	38.80	43.76	6.30
SMAX	60.98	39.26	39.23	5.92
SMAX	60.62	36.98	35.68	6.13
SMAX	62.04	40.25	37.45	5.97
S1300	57.05	35.83	44.77	8.02
S1300	58.15	36.80	47.20	7.67
S1300	59.98	38.55	47.10	7.51

\* = La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

**Tabla A-4.** Rendimiento de los quesos Chihuahua.

Tratamiento	Base	Base
	Húmeda	Seca
Rendimiento (%)		
Control P650	8.99	5.90
Control P650	9.30	6.10
Control P650	9.20	6.01
Control P1300	8.99	5.89
Control P1300	8.89	5.82
Control P1300	9.11	6.06
Control P1950	9.15	5.99
Control P1950	9.11	5.96
Control P1950	8.91	5.78
Control P2600	8.99	6.08
Control P2600	9.15	6.24

Control P2600	8.97	6.05
Control P3000	8.95	6.06
Control P3000	9.13	6.18
Control P3000	9.38	6.29
Control S1300	9.34	5.70
Control S1300	9.15	5.55
Control S1300	9.28	5.76
Control SMAX	8.99	5.60
Control SMAX	9.15	5.61
Control SMAX	8.99	5.66
P650	9.12	5.67
P650	9.81	6.10
P650	9.58	5.97
P1300	10.04	6.26
P1300	9.38	5.83
P1300	9.55	5.95
P1950	9.98	5.93
P1950	9.90	5.90
P1950	10.08	5.85
P2600	9.76	5.83
P2600	9.98	6.08
P2600	9.69	5.80
P3000	9.42	5.37
P3000	9.57	5.34
P3000	10.04	5.65
SMAX	10.25	5.85
SMAX	9.97	5.80
SMAX	9.97	5.98
S1300	9.3	6.26
S1300	9.2	5.83
S1300	9.11	5.95

\* = La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

**Tabla A-5.** Propiedades fisicoquímicas de los quesos Chihuahua.

Tratamiento	Firmeza (g)	Fundido (cm)
Control P650	3840.23	34.5
Control P650	4217.20	34.5
Control P650	4053.85	35.5
Control P1300	4228.21	33

Control P1300	4158.32	34
Control P1300	4273.05	34.5
Control P1950	4108.86	34
Control P1950	3700.74	33.5
Control P1950	4152.66	32.5
Control P2600	4254.91	24
Control P2600	4495.00	24.5
Control P2600	4497.92	23.5
Control P3000	4225.33	24
Control P3000	4220.97	26
Control P3000	4368.32	26.5
Control S1300	4925.33	36.50
Control S1300	4834.81	34.00
Control S1300	4764.63	32.50
Control SMAX	5476.26	35.5
Control SMAX	5552.14	35.5
Control SMAX	5213.84	34
P650	3437.39	36
P650	3188.93	34.5
P650	3152.64	36
P1300	3704.22	34
P1300	3719.59	36.5
P1300	3699.97	33.5
P1950	2465.74	38.5
P1950	2370.91	38.5
P1950	2428.25	36.5
P2600	1900.11	38
P2600	1930.94	38.5
P2600	1981.63	37.5
P3000	2443.22	37.5
P3000	2479.10	39
P3000	2414.85	37
SMAX	3423.37	49.50
SMAX	3872.91	45.00
SMAX	3585.76	45.50
S1300	4875.35	40.50
S1300	4805.20	43.00
S1300	4869.01	40.00

\* = La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

**Tabla A-6.** Parámetros del proceso de manufactura de los quesos Chihuahua<sup>a</sup>.

Tratamiento	Acidez de la leche (°D)	Tiempo de acidificación (min)	Acidez al término de la acidificación (°D)	Tiempo de cortado (min)	Acidez al término del cheddarizado (°D)
Control P650	18.9	30	21.6	30	39.6
Control P650	18.9	30	21.6	30	39.6
Control P650	18.9	30	21.6	30	40.5
Control P1300	18.9	30	21.6	30	39.6
Control P1300	18.9	30	21.6	30	39.6
Control P1300	18.9	30	21.6	30	39.6
Control P1950	18.9	30	21.6	30	39.6
Control P1950	18.9	30	21.6	30	39.6
Control P1950	18.9	30	21.6	30	39.6
Control P2600	16.2	30	18	30	39.6
Control P2600	16.2	30	18	30	39.6
Control P2600	16.2	30	20.7	30	39.6
Control P3000	16.2	30	18	30	39.6
Control P3000	16.2	30	18	30	41.4
Control P3000	16.2	30	18	30	39.6
Control S1300	16.06	30	18	30	39.6
Control S1300	16.06	30	18	30	39.6
Control S1300	16.06	30	18	30	40.5
Control SMAX	15.8	30	18	30	39.6
Control SMAX	15.8	30	18	30	40.6
Control SMAX	15.8	30	18	30	40.6
P650	18.9	10	27	30	39.6
P650	18.9	10	26.1	30	39.6
P650	18.9	10	26.1	30	40.5
P1300	18.9	10	27.9	40	39.6
P1300	18.9	10	27	40	40.5
P1300	18.9	10	26.1	40	41.4
P1950	18.9	10	29.7	50	39.6
P1950	18.9	10	29.7	50	39.6
P1950	18.9	10	29.29	50	39.6
P2600	16.2	10	23.4	90	40
P2600	16.2	10	24.3	90	40
P2600	16.2	10	27.9	90	41.4
P3000	16.2	10	27	90	39.6
P3000	16.2	10	23.4	90	41.4
P3000	16.2	10	24.3	90	39.6
SMAX	16.06	30	18	30	39.6

SMAX	16.06	30	18	30	39.6
SMAX	16.06	30	18	30	39.6
S1300	15.8	30	18	30	39.6
S1300	15.8	30	18	30	39.6
S1300	15.8	30	18	30	40.6

<sup>a</sup> El tiempo de acidificación es el tiempo transcurrido entre la adición del cultivo y la adición del cuajo; el tiempo de cortado es el momento en el cual el gel formado tiene la suficiente firmeza para realizar un buen corte, después de adicionar el cuajo. El tiempo de cheddarizado se ajustó basado en la acidez de la cuajada durante su proceso de manufactura. \* = La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

**Tabla A-7.** Contenido total relativos de calcio y magnesio en los quesos Chihuahua.

Tratamiento	Base Húmeda		Base Seca	
	Mg (%)	Ca (%)	Mg (%)	Ca (%)
P650	370.68	89.15	391.55	94.17
P650	350.27	91.81	369.83	96.93
P650	401.56	86.28	421.58	90.58
P1300	544.67	88.69	571.99	93.14
P1300	489.24	81.97	515.49	86.36
P1300	552.23	94.17	588.94	100.43
P1950	646.94	70.48	712.45	77.62
P1950	701.79	71.69	770.28	78.68
P1950	718.18	71.59	802.97	80.04
P2600	849.69	64.12	963.20	72.69
P2600	841.53	64.37	941.51	72.02
P2600	755.71	63.81	854.18	72.13
P3000	873.10	64.94	1033.16	76.84
P3000	816.63	64.47	991.96	78.32
P3000	810.90	61.23	966.53	72.99
SMAX	2498.80	63.49	2670.94	67.87
SMAX	2293.14	66.35	2390.54	69.17
SMAX	2359.73	68.92	2440.78	71.29
S1300	324.37	97.58	342.45	103.02
S1300	448.71	98.18	441.11	96.51
S1300	435.62	96.89	433.27	96.36

\* = La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.



**Tabla A-8.** Composición relativa de los quesos Chihuahua (bh).

Tratamiento	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	pH (%)
P650	110.16	109.25	93.21	107.61	99.82
P650	110.09	108.57	98.71	108.33	99.63
P650	108.97	106.68	90.72	110.94	99.44
P1300	109.08	107.15	93.03	106.86	99.44
P1300	109.66	98.60	91.03	95.86	99.44
P1300	112.38	108.49	89.84	115.47	99.44
P1950	117.43	96.56	86.15	91.09	97.62
P1950	116.81	103.28	86.85	95.90	95.97
P1950	119.54	102.89	85.37	105.26	98.51
P2600	124.63	89.05	85.33	98.85	97.61
P2600	122.78	90.57	81.31	98.83	97.77
P2600	124.07	90.62	84.49	99.14	96.89
P3000	132.06	90.49	74.02	102.22	96.68
P3000	137.13	87.74	74.63	105.94	96.15
P3000	132.75	87.43	75.33	100.00	96.15
SMAX	110.07	85.38	75.00	126.73	99.09
SMAX	106.27	95.45	74.59	119.91	98.73
SMAX	105.43	92.59	76.60	121.62	98.72
S1300	110.12	97.59	88.34	98.73	99.45
S1300	97.25	100.66	99.83	113.41	99.27
S1300	99.09	100.87	97.95	108.11	99.09

\* = La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

**Tabla A-9.** Composición relativa de los quesos Chihuahua (bs).

Tratamiento	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)
P650	94.67	115.40	98.46	113.66
P650	94.71	114.63	104.22	114.38
P650	95.25	112.00	95.25	116.47
P1300	95.22	112.53	97.70	112.22
P1300	94.91	103.89	95.92	101.01
P1300	93.77	115.70	95.81	123.14
P1950	90.80	106.34	94.87	100.32
P1950	91.11	113.36	95.33	105.26
P1950	89.44	115.04	95.45	117.69
P2600	88.21	100.95	96.72	112.06
P2600	89.38	101.33	90.96	110.57

P2600	88.47	102.42	95.50	112.06
P3000	84.51	107.08	87.59	120.95
P3000	82.32	106.57	90.66	128.68
P3000	83.90	104.21	89.79	119.19
SMAX	93.56	91.26	80.17	135.46
SMAX	95.93	99.50	77.75	125.01
SMAX	96.68	95.77	79.23	125.80
S1300	94.72	103.03	93.26	104.23
S1300	101.72	98.96	98.14	111.49
S1300	100.54	100.32	97.42	107.53

\* = La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

**Tabla A-10. Rendimiento relativo de los quesos Chihuahua.**

Tratamiento	Base Húmeda	Base Seca
	Rendimiento (%)	
P650	101.49	96.08
P650	105.54	99.96
P650	104.15	99.20
P1300	111.70	106.36
P1300	105.57	100.19
P1300	104.75	98.22
P1950	109.01	98.99
P1950	108.60	98.94
P1950	113.19	101.24
P2600	108.60	95.80
P2600	109.01	97.43
P2600	106.09	93.86
P3000	105.06	88.78
P3000	106.91	88.02
P3000	107.03	89.80
SMAX	109.71	102.64
SMAX	108.90	104.46
SMAX	107.44	103.88
S1300	103.45	96.04
S1300	100.55	101.96
S1300	101.33	101.01

\* = La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

**Tabla A-11.** Propiedades fisicoquímicas relativas de los quesos Chihuahua.

Tratamiento	Firmeza (%)	Fundido (%)
P650	89.51	104.35
P650	75.62	100.00
P650	77.77	101.41
P1300	87.61	103.03
P1300	89.45	107.35
P1300	86.59	97.10
P1950	60.01	113.24
P1950	64.07	114.93
P1950	58.47	112.31
P2600	44.66	158.33
P2600	42.96	157.14
P2600	44.06	159.57
P3000	57.82	156.25
P3000	58.73	150.00
P3000	55.28	139.62
SMAX	69.51	135.62
SMAX	80.10	132.35
SMAX	75.26	140.00
S1300	89.03	114.08
S1300	86.55	121.13
S1300	93.39	117.65

\* = La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

**Tabla A-12.** Parámetros relativos del proceso de manufactura de los quesos Chihuahua<sup>a</sup>.

Tratamiento	Acidez relativa de la leche (%)	Tiempo relativo de acidificación (%)	Acidez relativa al término de la acidificación (%)	Tiempo relativo de cortado (%)	Acidez relativa al término del cheddarizado (%)
P650	100	33.33	125.00	100.00	100.00
P650	100	33.33	120.83	100.00	100.00
P650	100	33.33	120.83	100.00	100.00
P1300	100	33.33	129.17	133.33	100.00
P1300	100	33.33	125.00	133.33	102.27
P1300	100	33.33	120.83	133.33	104.55
P1950	100	33.33	137.50	166.67	100.00
P1950	100	33.33	137.50	166.67	100.00

P1950	100	33.33	135.60	166.67	100.00
P2600	100	33.33	130.00	300.00	101.01
P2600	100	33.33	135.00	300.00	101.01
P2600	100	33.33	134.78	300.00	104.55
P3000	100	33.33	150.00	300.00	100.00
P3000	100	33.33	130.00	300.00	100.00
P3000	100	33.33	135.00	300.00	100.00
SMAX	100	100	100	100	100
SMAX	100	100	100	100	100
SMAX	100	100	100	100	97.78
S1300	100	100	100	100	100
S1300	100	100	100	100	97.53
S1300	100	100	100	100	100

<sup>a</sup> El tiempo de acidificación es el tiempo transcurrido entre la adición del cultivo y la adición del cuajo; el tiempo de cortado es el momento en el cual el gel formado tiene la suficiente firmeza para realizar un buen corte, después de adicionar el cuajo. El tiempo de cheddarizado se ajustó basado en la acidez de la cuajada durante su proceso de manufactura. \* = La letra "P" en los tratamientos indica que el enriquecimiento con Mg se llevó a cabo durante la pasteurización de la leche, mientras que la letra "S" durante la etapa del salado. P650, P1300, P1950, P2600, P3000, representan una adición de 650, 1290.6, 1959.8, 2629, 3011.4 mg de Mg/L de leche respectivamente. S1300 y SMAX representan una adición de 2629 y 26290 mg de Mg/kg de cuajada respectivamente.

## 10. APÉNDICE B

### Análisis estadísticos

#### Mg Relativo Base Húmeda SAS

```
data magnesio_relativas;  
input tratamiento$ magnesio;  
cards;  
P650 370.68  
P650 350.27  
P650 401.56  
P1300544.67  
P1300489.24  
P1300552.23  
P1950646.94  
P1950701.79  
P1950718.18  
P2600849.69  
P2600841.53  
P2600755.71  
P3000873.10  
P3000816.63  
P3000810.90  
S1300324.37  
S1300448.71  
S1300435.62  
SMAX2498.80  
SMAX2293.14  
SMAX2359.73  
;  
proc glm;  
class tratamiento ;  
model magnesio = tratamiento ;  
means tratamiento/tukey ;  
run;
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tratamiento	7	P1300 P1950 P2600 P3000 P650 S1300 SMAX

Número de observaciones 21  
 Sistema SAS 10:09 Monday, November 22, 2016 5

Procedimiento GLM

Variable dependiente: magnesio

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	8726618.274	1454436.379	446.26	<.0001
Error	14	45627.995	3259.142		
Total correcto	20	8772246.269			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	magnesio Media
0.994799	6.629621	57.08890	861.1186

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	8726618.274	1454436.379	446.26	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	8726618.274	1454436.379	446.26	<.0001

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para magnesio

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGMQL.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	14
Error de cuadrado medio	3259.142
Valor crítico del rango estudentizado	4.82895
Diferencia significativa mínima	159.16

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	tratamiento
A	2383.89	3	SMAX
B	833.54	3	P3000
B	815.64	3	P2600
B	688.97	3	P1950
C	528.71	3	P1300
C	402.90	3	S1300
C	374.17	3	P650

## Ca Relativo Base Húmeda SAS

```
data calcio_relativas;  
input tratamiento$ calcio;  
cards;  
P650 89.15  
P650 91.81  
P650 86.28  
P130088.69  
P130081.97  
P130094.17  
P195070.48  
P195071.69  
P195071.59  
P260064.12  
P260064.37  
P260063.81  
P300064.94  
P300064.47  
P300061.23  
S130097.58  
S130098.18  
S130096.89  
SMAX63.49  
SMAX66.35  
SMAX68.92  
;  
proc glm;  
class tratamiento ;  
model calcio = tratamiento ;  
means tratamiento/tukey ;  
run;
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tratamiento	7	P1300 P1950 P2600 P3000 P650 S1300 SMAX

Número de observaciones 21

Procedimiento GLM

Variable dependiente: calcio

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	3573.446390	595.574398	72.64	<.0001
Error	14	114.784267	8.198876		
Total correcto	20	3688.230657			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	calcio Media
0.968878	3.711361	2.863368	77.15143

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	3573.446390	595.574398	72.64	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	3573.446390	595.574398	72.64	<.0001

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para calcio

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	14
Error de cuadrado medio	8.198876
Valor crítico del rango estudentizado	4.82895
Diferencia significativa mínima	7.9831

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	tratamiento
A	97.550	3	S1300
B	89.080	3	P650
B	88.277	3	P1300
C	71.253	3	P1950
C	66.253	3	SMAX
C	64.100	3	P2600
C	63.547	3	P3000



## Humedad Relativa SAS

```
data humedad_relativas;  
input tratamiento$ humedad;  
cards;  
P650 110.16  
P650 110.09  
P650 108.97  
P1300109.08  
P1300109.66  
P1300112.38  
P1950117.43  
P1950116.81  
P1950119.54  
P2600124.63  
P2600122.78  
P2600124.07  
P3000132.06  
P3000137.13  
P3000132.75  
S1300110.12  
S130097.25  
S130099.09  
SMAX 110.07  
SMAX 106.27  
SMAX 105.43  
;  
proc glm;  
class tratamiento ;  
model humedad = tratamiento ;  
means tratamiento/tukey ;  
run;
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tratamiento	7	P1300 P1950 P2600 P3000 P650 S1300 SMAX

Número de observaciones 21

Procedimiento GLM

Variable dependiente: humedad

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	2162.328333	360.388056	36.76	<.0001
Error	14	137.237933	9.802710		
Total correcto	20	2299.566267			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	humedad Media
0.940320	2.721678	3.130928	115.0367

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	2162.328333	360.388056	36.76	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	2162.328333	360.388056	36.76	<.0001

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para humedad

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGMQL.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	14
Error de cuadrado medio	9.80271
Valor crítico del rango estudentizado	4.82895
Diferencia significativa mínima	8.729

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	tratamiento
A	133.980	3	P3000
B	123.827	3	P2600
B	117.927	3	P1950
C	110.373	3	P1300
C	109.740	3	P650
C	107.257	3	SMAX
D	102.153	3	S1300

## Proteína Relativa Base Húmeda SAS

```
data proteina_relativas;
input tratamiento$ proteina;
cards;
P650 109.25
P650 108.57
P650 106.68
P1300 107.15
P1300 98.60
P1300 108.49
P1950 96.56
P1950 103.28
P1950 102.89
P2600 89.05
P2600 90.57
P2600 90.62
P3000 90.49
P3000 87.74
P3000 87.43
S1300 97.59
S1300 100.66
S1300 100.87
SMAX 85.38
SMAX 95.45
SMAX 92.59
;
proc glm;
class tratamiento ;
model proteina = tratamiento ;
means tratamiento/tukey ;
run;
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tratamiento	7	P1300 P1950 P2600 P3000 P650 S1300 SMAX

Número de observaciones 21

Procedimiento GLM

Variable dependiente: proteina

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	1074.738257	179.123043	15.93	<.0001
Error	14	157.441667	11.245833		
Total correcto	20	1232.179924			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	proteina Media
0.872225	3.435424	3.353481	97.61476

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	1074.738257	179.123043	15.93	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	1074.738257	179.123043	15.93	<.0001

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para proteina

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	14
Error de cuadrado medio	11.24583
Valor crítico del rango estudentizado	4.82895
Diferencia significativa mínima	9.3495

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	tratamiento
A	108.167	3	P650
A	104.747	3	P1300
A	100.910	3	P1950
A	99.707	3	S1300
B	91.140	3	SMAX
B	90.080	3	P2600
B	88.553	3	P3000

## Grasa Relativa Base Húmeda SAS

```
data grasa_relativas;  
input tratamiento$ grasa;  
cards;  
P650 93.21  
P650 98.71  
P650 90.72  
P130093.03  
P130091.03  
P130089.84  
P195086.15  
P195086.85  
P195085.37  
P260085.33  
P260081.31  
P260084.49  
P300074.02  
P300074.63  
P300075.33  
S130088.34  
S130099.83  
S130097.95  
SMAX75.00  
SMAX74.59  
SMAX76.60  
;  
proc glm;  
class tratamiento ;  
model grasa = tratamiento ;  
means tratamiento/tukey ;  
run;
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tratamiento	7	P1300 P1950 P2600 P3000 P650 S1300 SMAX
Número de observaciones		21

Procedimiento GLM

Variable dependiente: grasa

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	1288.440057	214.740010	23.52	<.0001
Error	14	127.800867	9.128633		
Total correcto	20	1416.240924			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	grasa Media
0.909761	3.520366	3.021363	85.82524

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	1288.440057	214.740010	23.52	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	1288.440057	214.740010	23.52	<.0001

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para grasa

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGMQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	14
Error de cuadrado medio	9.128633
Valor crítico del rango estudentizado	4.82895
Diferencia significativa mínima	8.4236

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey	Agrupamiento	Media	N	tratamiento
	A	95.373	3	S1300
	A			
B	A	94.213	3	P650
B	A			
B	A	91.300	3	P1300
B	C			
B	C	86.123	3	P1950
	C			
	D	83.710	3	P2600
	D			
E	D	75.397	3	SMAX
E				
E		74.660	3	P3000

## Cenizas Relativas Base Húmeda SAS

```
data cenizas_relativas;
input tratamiento$ cenizas;
cards;
P650 107.61
P650 108.33
P650 110.94
P1300 106.86
P1300 95.86
P1300 115.47
P1950 91.09
P1950 95.90
P1950 105.26
P2600 98.85
P2600 98.83
P2600 99.14
P3000 102.22
P3000 105.94
P3000 100.00
S1300 98.73
S1300 113.41
S1300 108.11
SMAX 126.73
SMAX 119.91
SMAX 121.62
;
proc glm;
class tratamiento ;
model cenizas = tratamiento ;
means tratamiento/tukey ;
run;
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tratamiento	7	P1300 P1950 P2600 P3000 P650 S1300 SMAX

Número de observaciones 21

Procedimiento GLM

Variable dependiente: cenizas

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	1271.731981	211.955330	6.49	0.0019
Error	14	456.998200	32.642729		
Total correcto	20	1728.730181			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	cenizas Media
0.735645	5.378361	5.713382	106.2290

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	1271.731981	211.955330	6.49	0.0019

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	1271.731981	211.955330	6.49	0.0019

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para cenizas

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	14
Error de cuadrado medio	32.64273
Valor crítico del rango estudentizado	4.82895
Diferencia significativa mínima	15.929

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	tratamiento
A	122.753	3	SMAX
A	108.960	3	P650
B	106.750	3	S1300
B	106.063	3	P1300
B	102.720	3	P3000
B	98.940	3	P2600
B	97.417	3	P1950



## pH Relativo SAS

```
data pH_relativas;
input tratamiento$ pH;
cards;
P650 5.49
P650 5.36
P650 5.34
P13005.35
P13005.34
P13005.35
P19505.34
P19505.24
P19505.3
P26005.3
P26005.26
P26005.29
P30005.24
P30005.24
P30005.24
S13005.47
S13005.44
S13005.44
SMAX5.44
SMAX5.43
SMAX5.42
;
proc glm;
class tratamiento ;
model pH = tratamiento ;
means tratamiento/tukey ;
run;
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tratamiento	7	P1300 P1950 P2600 P3000 P650 S1300 SMAX

Número de observaciones 21

Procedimiento GLM

Variable dependiente: pH

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	29.50811429	4.91801905	16.49	<.0001
Error	14	4.17466667	0.29819048		
Total correcto	20	33.68278095			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	pH Media
0.876059	0.555348	0.546068	98.32905

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	29.50811429	4.91801905	16.49	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	29.50811429	4.91801905	16.49	<.0001

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para pH

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	14
Error de cuadrado medio	0.29819
Valor crítico del rango estudentizado	4.82895
Diferencia significativa mínima	1.5224

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	tratamiento
A	99.6300	3	P650
A	99.4400	3	P1300
A	99.2700	3	S1300
A	98.8467	3	SMAX
B	97.4233	3	P2600
B	97.3667	3	P1950
B	96.3267	3	P3000

## Rendimiento Relativo Base Húmeda SAS

```
data rendimiento_relativas;  
input tratamiento$ rendimiento;  
cards;  
P650 101.49  
P650 105.54  
P650 104.15  
P1300 111.70  
P1300 105.57  
P1300 104.75  
P1950 109.01  
P1950 108.60  
P1950 113.19  
P2600 108.60  
P2600 109.01  
P2600 106.09  
P3000 105.06  
P3000 106.91  
P3000 107.03  
S1300 103.45  
S1300 100.55  
S1300 101.33  
SMAX 109.71  
SMAX 108.90  
SMAX 107.44  
;  
proc glm;  
class tratamiento ;  
model rendimiento = tratamiento ;  
means tratamiento/tukey ;  
run;
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tratamiento	7	P1300 P1950 P2600 P3000 P650 S1300 SMAX

Número de observaciones 21

Procedimiento GLM

Variable dependiente: rendimiento

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	154.8291905	25.8048651	5.57	0.0039
Error	14	64.8121333	4.6294381		
Total correcto	20	219.6413238			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	rendimiento Media
0.704918	2.018868	2.151613	106.5752

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	154.8291905	25.8048651	5.57	0.0039

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	154.8291905	25.8048651	5.57	0.0039

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para rendimiento

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	14
Error de cuadrado medio	4.629438
Valor crítico del rango estudentizado	4.82895
Diferencia significativa mínima	5.9987

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	tratamiento
A	110.267	3	P1950
B A	108.683	3	SMAX
B A	107.900	3	P2600
B A C	107.340	3	P1300
B A C	106.333	3	P3000
B C	103.727	3	P650
B C	101.777	3	S1300

## Firmeza Relativa SAS

```
data tpa_relativas;
input tratamiento$ tpa;
cards;
P650 89.51
P650 75.62
P650 77.77
P130087.61
P130089.45
P130086.59
P195060.01
P195064.07
P195058.47
P260044.66
P260042.96
P260044.06
P300057.82
P300058.73
P300055.28
S130089.03
S130086.55
S130093.39
SMAX69.51
SMAX80.10
SMAX75.26
;
proc glm;
class tratamiento ;
model tpa = tratamiento ;
means tratamiento/tukey ;
run;
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tratamiento	7	P1300 P1950 P2600 P3000 P650 S1300 SMAX

Número de observaciones 21  
 Sistema SAS 11:39 Tuesday, September 14, 2016 47

Procedimiento GLM

Variable dependiente: tpa

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	5321.708867	886.951478	56.24	<.0001
Error	14	220.809000	15.772071		
Total correcto	20	5542.517867			

R-cuadrado 0.960161  
 Coef Var 5.610652  
 Raiz MSE 3.971407  
 tpa Media 70.78333

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	5321.708867	886.951478	56.24	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	5321.708867	886.951478	56.24	<.0001

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para tpa

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa 0.05  
 Error de grados de libertad 14  
 Error de cuadrado medio 15.77207  
 Valor crítico del rango estudentizado 4.82895  
 Diferencia significativa mínima 11.072

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	tratamiento
Á	89.657	3	S1300
Á	87.883	3	P1300
B	80.967	3	P650
B	74.957	3	SMAX
C	60.850	3	P1950
C	57.277	3	P3000
D	43.893	3	P2600

## Fundido Relativo SAS

```
data fundido_relativas;
input tratamiento$ fundido;
cards;
P650 104.35
P650 100.00
P650 101.41
P1300103.03
P1300107.35
P130097.10
P1950113.24
P1950114.93
P1950112.31
P2600158.33
P2600157.14
P2600159.57
P3000156.25
P3000150.00
P3000139.62
S1300114.08
S1300121.13
S1300117.65
SMAX 135.62
SMAX 132.35
SMAX 140.00
;
proc glm;
class tratamiento ;
model fundido = tratamiento ;
means tratamiento/tukey ;
run;
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tratamiento	7	P1300 P1950 P2600 P3000 P650 S1300 SMAX

Número de observaciones 21  
 Sistema SAS 11:39 Tuesday, September 14, 2016 50

Procedimiento GLM

Variable dependiente: fundido

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	9045.629057	1507.604843	79.73	<.0001
Error	14	264.736467	18.909748		
Total correcto	20	9310.365524			

R-cuadrado 0.971565  
 Coef Var 3.465020  
 Raiz MSE 4.348534  
 fundido Media 125.4981

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	9045.629057	1507.604843	79.73	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	9045.629057	1507.604843	79.73	<.0001

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para fundido

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa 0.05  
 Error de grados de libertad 14  
 Error de cuadrado medio 18.90975  
 Valor crítico del rango estudentizado 4.82895  
 Diferencia significativa mínima 12.124

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	tratamiento
A	158.347	3	P2600
A	148.623	3	P3000
B	135.990	3	SMAX
C	117.620	3	S1300
C	113.493	3	P1950
D	102.493	3	P1300
D	101.920	3	P650



## Tiempo Relativo de Acidificación Base Seca SAS

```
data tacidificacion_relativas;
input tratamiento$ tacidificacion;
cards;
P650 33.33
P650 33.33
P650 33.33
P130033.33
P130033.33
P130033.33
P195033.33
P195033.33
P195033.33
P260033.33
P260033.33
P260033.33
P300033.33
P300033.33
P300033.33
S1300100
S1300100
S1300100
SMAX 100
SMAX 100
SMAX 100
;
proc glm;
class tratamiento ;
model tacidificacion = tratamiento ;
means tratamiento/tukey ;
run;
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tratamiento	7	P1300 P1950 P2600 P3000 P650 S1300 SMAX

Número de observaciones 21  
 Sistema SAS 11:39 Tuesday, September 14, 2016 53

Procedimiento GLM

Variable dependiente: **tacidificacion**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	19049.52386	3174.92064	Infin	<.0001
Error	14	0.00000	0.00000		
Total correcto	20	19049.52386			

R-cuadrado 1.000000  
 Coef Var 0  
 Raiz MSE 0  
**tacidificacion** Media 52.37857

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	19049.52386	3174.92064	Infin	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	19049.52386	3174.92064	Infin	<.0001

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para **tacidificacion**

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa 0.05  
 Error de grados de libertad 14  
 Error de cuadrado medio 0  
 Valor crítico del rango estudentizado 4.82895  
 Diferencia significativa mínima 0

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	tratamiento
A	100.0	3	SMAX
A	100.0	3	S1300
B	33.3	3	P1300
B	33.3	3	P3000
B	33.3	3	P650
B	33.3	3	P1950
B	33.3	3	P2600

## Acides Relativa al Término de la Acidificación SAS

```
data arta_relativas;
input tratamiento$ arta;
cards;
P650 125.00
P650 120.83
P650 120.83
P1300 129.17
P1300 125.00
P1300 120.83
P1950 137.50
P1950 137.50
P1950 135.60
P2600 130.00
P2600 135.00
P2600 134.78
P3000 150.00
P3000 130.00
P3000 135.00
S1300 100
S1300 100
S1300 100
SMAX 100
SMAX 100
SMAX 100
;
proc glm;
class tratamiento ;
model arta = tratamiento ;
means tratamiento/tukey ;
run;
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tratamiento	7	P1300 P1950 P2600 P3000 P650 S1300 SMAX

Número de observaciones 21

Procedimiento GLM

Variable dependiente: arta

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	4773.685067	795.614178	39.58	<.0001
Error	14	281.409333	20.100667		
Total correcto	20	5055.094400			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	arta Media
0.944332	3.667684	4.483377	122.2400

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	4773.685067	795.614178	39.58	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	4773.685067	795.614178	39.58	<.0001

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para arta

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	14
Error de cuadrado medio	20.10067
Valor crítico del rango estudentizado	4.82895
Diferencia significativa mínima	12.5

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	tratamiento
A	138.333	3	P3000
B A	136.867	3	P1950
B A	133.260	3	P2600
B A C	125.000	3	P1300
B C	122.220	3	P650
D	100.000	3	S1300
D	100.000	3	SMAX

## Tiempo Relativo del Cortado SAS

```
data trcortado_relativas;
input tratamiento$ trcortado;
cards;
P650 100.00
P650 100.00
P650 100.00
P1300 133.33
P1300 133.33
P1300 133.33
P1950 166.67
P1950 166.67
P1950 166.67
P2600 300.00
P2600 300.00
P2600 300.00
P3000 300.00
P3000 300.00
P3000 300.00
S1300 100
S1300 100
S1300 100
SMAX 100
SMAX 100
SMAX 100
;
proc glm;
class tratamiento ;
model trcortado = tratamiento ;
means tratamiento/tukey ;
run;
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tratamiento	7	P1300 P1950 P2600 P3000 P650 S1300 SMAX

Número de observaciones 21  
 Sistema SAS 11:39 Tuesday, September 14, 2016 59

Procedimiento GLM

Variable dependiente: trcortado

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	149524.4763	24920.7460	Infin	<.0001
Error	14	0.0000	0.0000		
Total correcto	20	149524.4763			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	trcortado Media
1.000000	0	0	171.4286

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	149524.4763	24920.7460	Infin	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	149524.4763	24920.7460	Infin	<.0001

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para trcortado

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	14
Error de cuadrado medio	0
Valor crítico del rango estudentizado	4.82895
Diferencia significativa mínima	0

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	tratamiento
A	300.0	3	P2600
A	300.0	3	P3000
B	166.7	3	P1950
C	133.3	3	P1300
D	100.0	3	P650
D	100.0	3	S1300
D	100.0	3	SMAX

## Acidez Relativa al Término del Cheddarizado SAS

```
data artc_relativas;
input tratamiento$ artc;
cards;
P650 100.00
P650 100.00
P650 100.00
P1300 100.00
P1300 102.27
P1300 104.55
P1950 100.00
P1950 100.00
P1950 100.00
P2600 101.01
P2600 101.01
P2600 104.55
P3000 100.00
P3000 100.00
P3000 100.00
S1300 100
S1300 97.53
S1300 100
SMAX 100
SMAX 100
SMAX 97.78
;
proc glm;
class tratamiento ;
model artc = tratamiento ;
means tratamiento/tukey ;
run;
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tratamiento	7	P1300 P1950 P2600 P3000 P650 S1300 SMAX

Número de observaciones 21  
 Sistema SAS 11:39 Tuesday, September 14, 2016 62

Procedimiento GLM

Variable dependiente: artc

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	29.96458095	4.99409683	2.68	0.0601
Error	14	26.05853333	1.86132381		
Total correcto	20	56.02311429			

R-cuadrado 0.534861  
 Coef Var 1.358675  
 Raiz MSE 1.364303  
 artc Media 100.4143

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	29.96458095	4.99409683	2.68	0.0601

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tratamiento	6	29.96458095	4.99409683	2.68	0.0601

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para artc

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa 0.05  
 Error de grados de libertad 14  
 Error de cuadrado medio 1.861324  
 Valor crítico del rango estudentizado 4.82895  
 Diferencia significativa mínima 3.8037

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	tratamiento
Á	102.273	3	P1300
Á	102.190	3	P2600
Á	100.000	3	P1950
Á	100.000	3	P3000
Á	100.000	3	P650
Á	99.260	3	SMAX
Á	99.177	3	S1300



**11. APÉNDICE C**  
**Tabla para interpretación de resultados**  
**de la prueba triangular**

Número de respuestas correctas necesario para establecer diferencia significativa			
Número de Jueces	NIVEL DE SIGNIFICANCIA		
	5%	1%	0.1%
7	5	7	7
10	7	8	9
15	9	10	12
20	11	13	14
25	13	15	17
30	16	17	19
35	18	19	21
40	20	22	24
45	22	24	26
50	24	26	28
55	26	28	30
60	28	30	33
65	30	32	35
70	32	34	37
75	34	36	39
80	35	38	41

\* Adaptado de Roesller y colaboradores (1948).